

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Liberec 2013

Bc. Miroslava Malovcová

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

Studijní program: N3106 Textilní inženýrství

Studijní obor: Textilní materiálové inženýrství

VLIV SMĚSOVÉHO PODÍLU BAVLNY A POLYPROPYLENU NA VYBRANÉ VLASTNOSTI TKANIN

INFLUENCE OF MIXED PROPORTION OF COTTON AND POLYPROPYLENE ON SELECTED PROPERTIES OF FABRICS

Miroslava Malovcová

TMI-601

Vedoucí diplomové práce: doc. Dr. Ing. Dana Křemenáková

Rozsah práce:

Počet stran textu64

Počet obrázků42

Počet tabulek 11

Počet stran příloh9

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Miroslava Makovská**
Osobní číslo: **T10000050**
Studijní program: **N3106 Textilní inženýrství**
Studijní obor: **Textilní materiálové inženýrství**
Název tématu: **Vliv směsového podílu bavlny a polypropylenu na vybrané vlastnosti tkanin**
Zadávající katedra: **Katedra textilních materiálů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte rešerši na téma vliv směsového podílu komponent na vlastnosti přízí a tkanin. Studujte práce zabývající se zejména zaplněním a průměrem přízí, zaplněním a zakrytím tkanin vyrobených ze směsi bavlny a polypropylenu. Zaměřte se na predikci porózy a tepelné vodivosti s ohledem na strukturu přízí a tkanin vyrobených s různým směsoým podílem komponent, které se vyznačují také různou tepelnou vodivostí.
2. Proveďte testování porózy a tepelné vodivosti tkanin vyrobených ze směsi polypropylenu a bavlny. Stanovte vliv směsového podílu přízí na porózu a tepelnou vodivost uvedených tkanin
3. Prostudujte a zhodnoťte možnosti uplatnění polypropylenových a bavlněných vláken a jejich směsí ve tkaninách. Navrhněte optimální podíl komponent s ohledem na uvedené vlastnosti.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: 45

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- [1] Křemenáková, D.: Structure and properties of blended yarns and fabric. Part 3. Experimental analysis of yarn structure.
<http://www.ktt.tul.cz/index.php?page=predmety&action=detail&nextaction=view&i>
- [2] Křemenáková, D., Militký, J., Vozková, P.: Critical mixing ratio for blended yarn strength. 4th Central European Conference (CEC) - Fibre-grade polymers, chemical fibres and special textiles. July 2005 Liberec CZ, ISBN 80-7083-967-8.
- [3] J. Militky and D. Kremenakova: Prediction of fabrics thermal conductivity, Proc. 5th International Textile, Clothing & Design Conference - Magic World of Textiles, October 03rd - 06th 2010, DUBROVNIK, CROATIA, 6str.
- [4] Madejová, M.: Vlastnosti směsových tkanin v plátňové vazbě. Diplomová práce 2006. (ved. práce Křemenáková, D, konzultant Mertová, I.) Fakulta textilní Technická Univerzita v Liberci.
- [5] Legerská, J.: Štúdium tepelné priepustnosti v závislosti na štruktúre textilií. Disertační práce 2009. Trenčanská univerzita ASlexandra Dubčeka. Fakulta priemyslných technológií.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Dana Křemenáková

Katedra textilních technologií

Konzultant diplomové práce:

Ing. Jana Špánková

Katedra textilních technologií

Datum zadání diplomové práce:

27. října 2011

Termín odevzdání diplomové práce:

9. května 2012

prof. RNDr. Aleš Linka, CSc.

děkan



prof. Ing. Jiří Militký, CSc.

vedoucí katedry

V Liberci dne 27. října 2011

Technická univerzita v Liberci

Fakulta textilní

Katedra textilních materiálů

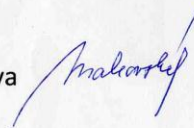
V Liberci dne 25.4.2012

Žádám o změnu termínu odevzdání diplomové práce z 9. května 2012 na zimní semestr školního roku 2012/ 2013 (prosinec 2012).

Důvod odkladu odevzdání: Dokončení diplomové práce

Děkuji za vyřízení.

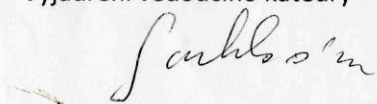
Bc. Makovská Miroslava



Vyjádření vedoucího práce

Gouklarov 25.4.2012
Kuc 1

Vyjádření vedoucího katedry



26/04/2012

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 10. 1. 2013

Podpis:

PodĎakovanie

Na tomto mieste by som chcela poĎakovať vedúcej diplomovej práce doc. Dr. Ing. Daně Křemenákové za odborné vedenie, cenné rady a usmernenie pri realizácii diplomovej práce. Ďalej by som rada poĎakovala konzultantke Ing. Janě Špánkové a zamestnancom Katedry odevníctva, Katedry textilných technológií a Katedry hodnotenia textílií, za ich čas, ústretovosť a možnosť využitia laboratórnych zariadení. Veľká vďaka patrí mojej rodine za ich psychickú a finančnú podporu.

Anotácia

Diplomová práca sa zaoberá hodnotením vplyvu zmesového podielu bavlny a polypropylénu na vybrané vlastnosti tkanín ako aj testovaním pórovitosti a tepelnej vodivosti uvedených tkanín.

Prvá časť práce je literárna rešerš, ktorá sa venuje stručnému popisu základných charakteristík priadze a textílie s upriamením na štruktúru tkaniny. Taktiež sa zameriava na predikciu pórovitosti a tepelnej vodivosti s ohľadom na štruktúru priadzí a tkanín vyrobených z rôznym zmesovým podielom komponent. Venuje sa prieskumu meracích zariadení k vybraným vlastnostiam tkanín.

Druhá, experimentálna časť, sa zaoberá testovaním pórovitosti, tepelnej vodivosti a priedušnosti tkanín vyrobených zo zmesi bavlny a polypropylénu. Na záver je hodnotený vplyv materiálu, zmesového podielu a dostavy na vybrané vlastnosti tkanín.

Kľúčové slová

Tepelná vodivosť, pórovitosť, priedušnosť, Alambeta, C – Therm TCi, polypropylén, bavlna.

Annotation

The thesis deals with the evaluation of the mixed cotton proportion impact and polypropylene fabrics selected properties as well as testing the porosity and thermal conductivity of these fabrics.

The first section is a literature review, which is devoted to a summary description of the basic characteristics of yarns and fabrics with focused on the structure of the fabrics. It also focuses on the prediction of porosity and thermal conductivity with respect to the structure of yarns and fabrics made of different mixed proportion components. It is a research of measuring devices to selected properties of fabrics.

The second section deals with experimental testing, porosity, thermal conductivity and permeability of fabrics made of a mixture of cotton and polypropylene. Finally, it assessed the impact of material mixed proportion and texture on selected properties of fabrics.

Key words

Thermal conductivity, porosity, permeability, Alambeta, C - Therm TCi, polypropylene, cotton.

Obsah

ÚVOD.....	14
LITERÁRNA REŠERŠ.....	16
1. Textilné vlákna	16
1.1 Bavlna	16
1.1.1 Vlastnosti bavlnených vlákien	16
1.2 Polypropylén	17
1.2.1 Vlastnosti polypropylénových vlákien.....	18
2. Základné parametre textilných materiálov	19
2.1 Charakteristika základných parametrov dĺžkových textílií.....	19
2.1.1 Jemnosť priadze	19
2.1.2 Priemer a substančný priemer priadze	19
2.1.3 Zaplnenie priadze	20
2.1.4 Chlpatosť priadze	23
2.2 Charakteristika viackomponentných štaplových priadzí.....	24
2.3 Charakteristika základných parametrov tkanín	26
2.3.1 Dostava tkaniny.....	26
2.3.2 Väzba tkaniny	26
2.3.3 Väzbová bunka	28
2.3.4 Previazanie nití	28
2.3.5 Zotkanie nití v tkanine	31
2.3.6 Hrúbka tkaniny	32
2.3.7 Plošná a objemová hmotnosť tkaniny.....	33
2.3.8 Zakrytie a zaplnenie tkaniny.....	33
3. Pórovitosť	35
3.1 Definícia štruktúrnych modelov – pórových buniek	36
3.2 Modely pórovitosti.....	37
3.2.1 Hustotná pórovitosť	37
3.2.2 Objemová pórovitosť	38
3.2.3 Plošná pórovitosť	39
3.2.4 Modifikovaný 2-D model pórovitosti tkaniny podľa Gooijera	39
3.2.5 Zjednodušený 3-D model pórovitosti tkaniny.....	41
4. Tepelná vodivosť	44
4.1 Termofyziologický komfort	47

4.2 Predikcia tepelnej vodivosti	48
4.3 Metódy hodnotenia tepelnej vodivosti materiálov	50
4.3.1 Alambeta	50
4.3.2 Analyzátor tepelnej vodivosti Model C-Therm TCI	52
5. Priedušnosť	54
5.1 Meranie priedušnosti	55
6 Experimentálna časť	56
6.1 Popis hodnotených tkanín	56
6.2 Meranie dostavy osnovy a útku	57
6.3 Meranie hrúbky tkaniny	57
6.4 Merania plošnej hmotnosti	59
6.5 Hustota tkaniny	60
6.6 Meranie pórovitosti tkaniny	61
6.7 Priedušnosť tkaniny	63
6.8 Meranie tepelnej vodivosti	66
6.9 Porovnanie modelov popisu štruktúry tkaniny	71
6.10 Vzťah medzi predikovanou a experimentálnou tepelnou vodivosťou	73
ZÁVER	77
POUŽITÁ LITERATÚRA	78
Zoznam obrázkov	81
Zoznam tabuliek	83
Zoznam príloh	84

Zoznam použitých symbolov a skratiek

a	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$	merná teplotná vodivosť
A	$[\text{mm}^2]$	plocha prierezu
A_o	$[\text{mm}]$	rozteč osnovných nití
A_u	$[\text{mm}]$	rozteč útkových nití
A_l	$[\text{m}^2]$	plocha póru typu p1 podľa Gooijer
b	$[\text{Wm}^{-2}\text{s}^{1/2}\text{K}^{-1}]$	tepelná jímavosť
CLO	$[1]$	osobitná jednotka tepelného komfortu
c_p	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$	merná tepelná kapacita
d	$[\text{m}]$	priemer priadze
d_o	$[\text{mm}]$	priemer osnovnej nite
d_u	$[\text{mm}]$	priemer útkovej nite
d_{str}	$[\text{mm}]$	stredný priemer nite
d_s	$[\text{m}]$	substančný priemer
Do	$[1/100\text{mm}]$	dostava osnovy
D_T	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$	súčiniteľ prestupu tepla
Du	$[1/100\text{mm}]$	dostava útku
gi	$[1]$	hmotnostní podiel vlákien v zmesi
h	$[\text{mm}]$	súčet výšok zvlňenia väzbových vln
h_o	$[\text{mm}]$	výška zvlňenia osnovnej nite
h_u	$[\text{mm}]$	výška zvlňenia útkovej nite
K	$[\text{mm}]$	materiálová konštanta
q	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$	tepelný tok
l	$[\text{km}]$	dĺžka priadze
L	$[\text{m}]$	dĺžka
L_{def}	$[\text{mm}]$	obvod deformovaného priečného rezu nite
L_o	$[\text{mm}]$	dĺžka osnovnej nite vytiahnutej z tkaniny
L_u	$[\text{mm}]$	dĺžka útkovej nite vytiahnutej z tkaniny
L_{vztk}	$[\text{mm}]$	dĺžka vzorky tkaniny v smeru po osnove
m	$[\text{g}]$	hmotnosť priadze
m_{tk}	$[\text{kg}]$	hmotnosť tkaniny
$m_{vlákien}$	$[\text{kg}]$	hmotnosť vlákien

m_s	[kg.m ⁻²]	plošná hmotnosť tkaniny
m_v	[kg.m ⁻³]	objemová hmotnosť tkaniny
n_{p1}	[1]	počet pórových buniek typu p1 obsiahnutých v striede väzby
n_o	[1]	počet osnovných nití
n_u	[1]	počet útkových nití
P_h	[1]	pórovitosť tkaniny podľa Havrdovej
P	[1]	pórovitosť
P_G	[1]	pórovitosť tkaniny podľa Gooijera
P_ρ	[1]	pórovitosť stanovená z podielu merných hmotností
P_S	[1]	plošná pórovitosť
r	[mm]	polomer priadze - začiatok oblasti chlpatosti
R	[m ² .K.W ⁻¹]	tepelným odporom
RH	[%]	relatívna vlhkosť vzduchu
s	[%]	percento zotkania nite
s_o	[%]	zotkanie osnovy
s_u	[%]	zotkanie útku
S	[m ²]	substančný prierez
S_c	[m ²]	celková plocha
S_{def}	[mm ²]	plocha deformovaného priečneho rezu nite
S_{tk}	[m ²]	plocha 1m ² tkaniny
\check{S}_{vztk}	[mm]	šírka vzorky tkaniny v smeru po útku
t	[tex]	jemnosť vlákien
t_{tk}	[m]	hrúbka tkaniny
T	[tex]	jemnosť priadze
T	[K]	teplota
To	[tex]	jemnosť osnovných nití
Tog	[1]	osobitná jednotka tepelného komfortu
Tu	[tex]	jemnosť útkových nití
u	[m.s ⁻¹]	rýchlosť elastických vln (rýchlosť zvuku)
V	[m ³]	objem vlákien
V_c	[m ³]	celkový objem vlákien
V_{tk}	[m ³]	objem 1m ² tkaniny
V_{zo+}	[m ³]	objem zakríženého úseku nite
V_{zo-}	[m ³]	objem nezakríženého úseku nite

Z	[1]	zakrytie tkaniny
Z_{lo}	[1]	zakrytie osnovy
Z_{lu}	[1]	zakrytie útku
α	[1]	pomerné rozšírenie priadze
β	[1]	pomerné stlačenie priadze
γ	[1]	sploštenie priadze
λ	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	súčiniteľ tepelnej vodivosti
λ_a	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	súčiniteľ tepelnej vodivosti vzduchu
λ_Y	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	súčiniteľ tepelnej vodivosti vlákien
λ_P	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	tepelná vodivosť pre paralelne usporiadanie
λ_{PS}	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	priemerná tepelná vodivosť
λ_S	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	tepelná vodivosť pre sériové usporiadanie
μ	[1]	zaplnenie priadze
μ_{tk}	[1]	zaplnenie tkaniny
μ_i^*	[1]	zaplnenie jednokomponentnej priadze vyrobenej z i-tej komponenty
π	[-]	Ludolfovo číslo
ρ	[kg.m ⁻³]	hustota vlákien
ρ_i	[kg.m ⁻³]	objemová merná hmotnosť vlákien i-tej komponenty
ρ_F	[kg.m ⁻³]	objemová merná hmotnosť vlákien
ρ_s	[kg.m ⁻³]	stredná hustota vlákien v zmesi
ρ_V	[kg.m ⁻³]	objemová merná hmotnosť nite
φ	[°]	uhol previazania osnovy
ψ	[°]	uhol previazania útku
φ	[°]	uhol zvlňenia
CO		bavlna
POP		polypropylén

ÚVOD

V súčasnej dobe sa kladie stále väčší dôraz na komfort človeka, a to vo všetkých aspektoch ľudského života. Každý človek má určité požiadavky, ktoré by mal jeho odev spĺňať. Tu môžeme hovoriť o trvanlivosti, zložení a druhu materiálu, omaku, dizajne, náročnosti údržby, ochranných vlastnostiach. Ľudia, ale čím ďalej, tým viac uprednostňujú oblečenie zabezpečujúce fyziologický komfort. Fyziologický komfort je silne spätý s tepelnou pohodou, ktorá je zadefinovaná ako stav spokojnosti s teplotnými podmienkami životného prostredia. Tepelná pohoda sa predovšetkým spája s pocitmi tepla, chladu, sucha, zimy a vlhkosti v odeve.

Najdôležitejšími vlastnosťami pre úspešné skonštruovanie vhodného odevu a tepelnoizolačných textílií je ich znalosť tepelných vlastností. S tepelnými špecifikáciami plošných textílií sa stretávame v každodennom živote. V odevnom priemysle pri nosení bežného ošatenia a obuvi alebo v priemyselných odvetviach, ako napr. v stavebníctve, izolácia budov. Samotná predikcia tepelnej vodivosti vláknitých štruktúr je dôležitá pre účely projektovania nových tkanín a predikcie ich schopnosti poskytovať tepelný komfort.

Textílie sú z hľadiska vnútornej štruktúry veľmi zložité a veľmi ťažko opísateľné útvary. Pre navrhovanie a projektovanie textílií požadovaných úžitkových vlastností sú prostredníctvom rady zjednodušujúcich predpokladov tvorené štruktúrne modely textílií.

Existujú štruktúrne modely jednotlivých textilných útvarov v hierarchii vlákno - priadza - tkanina. Je však potrebné znalosti zladit' a preskúmať ich spoločné väzby a spojitosti v textílií ako celku. Z hľadiska tepelnej vodivosti je považovaná za jeden z najvýznamnejších parametrov štruktúry tkaniny pórovitosť. Je zrejmé, že tepelná vodivosť tkaniny závisí predovšetkým na pórozite. Pórovitosť tkaniny je v prvom rade funkciou konštrukčných parametrov, ako je jemnosť, dostava osnovy a útku. Na pórozitu tkaniny má taktiež vplyv i pórovitosť medzi niťami i medzi vláknami. To je dôvodom na predikciu pórovitosti a s ňou súvisiacu tepelnú vodivosť. Pórovitosť je možné stanoviť množstvom teoretických postupov, a taktiež rôznymi experimentálnymi metódami.

Cieľom diplomovej práce je previesť testovanie pórovitosti a tepelnej vodivosti tkanín vyrobených zo zmesi bavlny a polypropylénu. Taktiež je potrebné stanoviť vplyv zmesového podielu priadze na pórovitosť a tepelnú vodivosť uvedených tkanín.

Experimentálne tkaniny, ktoré boli vyhodnotené v diplomovej práci, sú zhotovené firmou Spolsin s.r.o. a sú vyrobené z priadze s jemnosťou 20 tex v rôznych zmesových podieloch bavlny a polypropylénu.

LITERÁRNA REŠERŠ

1. Textilné vlákna

1.1 Bavlna

Prírodné rastlinné vlákna, ktoré sú tvorené najrozšírenejšou organickou zlúčeninou - celulózu, ktorá je tvoriaca steny rastlinných buniek. Elementárne zloženie celulózy je 44,4% C; 6,17 % H; 49,39 % O₂; (C₆H₁₀O₅)_n. Pre každý druh rastlinných vlákien je počet opakujúcich sa jednotiek iný. V bavlně sa celulóza vyskytuje v takmer čistej podobe.

Bavlna, jednobunkové vlákna obrastajúce semena bavlníka. Patrí do rodu : *Gossypium* a čeľade: *Slezovité (Malvaceae)*. Existuje viac ako 40 rôznych druhov bavlníkov, využíva sa päť základných: *bavlník kerový, srstnatý, bylinný, peruánský a stromový*.

Povrch vlákna je potiahnutý kutikulou, jemnou a pevnou pokožkou. Po celej dĺžke vlákna prechádza lúmen, čo je dutina vyplnená vzduchom a zvyšky protoplazmy. Chemické zloženie bavlneného vlákna závisí na druhu bavlny, zrelosti bavlny, na pôdnych podmienkach a iných faktoroch. Za priemerné zloženie sa považuje: 88 - 96% celulóza; 0,9 - 1,2% pektíny; 1,1 - 1,9% bielkoviny; 0,2 – 0,3% dusík; 0,5 - 1% organické kyseliny; 0,7 – 1,6% minerálne soli; 0,3% cukry; 0,9% ostatné.

1.1.1 Vlastnosti bavlnených vlákien

Medzi charakteristické vlastnosti bavlnených vlákien patrí:

- merná hmotnosť 1520 kg/m³
- dĺžka vlákien 12 – 55 mm
- jemnosť 0,8 – 2,85 dtex.
- pevnosť za sucha 2 – 4 cN/dtex, pevnosť za mokra 100 – 120% pevnosti za sucha
- ťažnosť za sucha 6 – 10%, ťažnosť za mokra 100 – 110% ťažnosti suchej
- navlhavosť v štandardných podmienkach (RH 65%) je 7,5%

- bavlnené vlákna pri teplote 120°C pozvoľna žltnú, pri 150°C zhnednú, pri 400°C vzplanú
- vykazuje dobré elektroizolačné a tepelnoizolačné vlastnosti
- pôsobením alkálií bobtná, prierez vlákna sa zaobľuje, lúmen sa zužuje, stužkovitý tvar sa vyrovnáva a zvyšuje sa lesk [1].

Použitie: mnohostranné, výrobky osobnej spotreby, bytové textílie, výrobky pre zdravotnícke potreby, priemyselné využitie.

1.2 Polypropylén

Polypropylén je chemické vlákno zo syntetických polymérov. Patrí k najmladším chemicko-syntetickým vláknám. V roku 1954 popísal Natta laboratórnu prípravu izotaktického POP.

Polypropylén sa pripravuje koordinačnou stereošpecifickou polymerizáciou propylénu $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH}_3$ s využitím Ziegler – Nattových katalyzátorov. Katalyzátor TiCl_3 , $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ pri 100°C a tlaku 3 MPa. Výsledkom je vysoko kryštalický izotaktický POP.

Výrobný postup je u polypropylénových vlákien kontinuálny. Výroba vlákna môže nastať viacerými postupmi: *Klasický postup*

- zvlákňovanie z taveniny (citlivé na prítomnosť O_2)
- chladenie v dlhej šachte (nízka tepelná vodivosť)
- nedĺžené vlákno má 70% kryštalinity
- dĺženie (s krčkom) 3,5

Skrátené zvlákňovanie

- nízka rýchlosť zvlákňovania 30 - 150 m min^{-1} a krátka chladiaca zóna. Špeciálne dĺženie (pevnosť až 7 cN/dtex).

Štiepenie fólií

- extrúzia fólie
- jednoose dĺženie
- rezanie

Vysoká orientácia a vysoká pevnosť 4,5 až 6,5 cN/dtex. Pre obalový materiál.

1.2.1 Vlastnosti polypropylénových vláken

Medzi charakteristické vlastnosti polypropylénových vláken patrí:

- merná hmotnosť 910 kg/m³
- vysoký koeficient trenia 0,24
- pevnosť 1,5 - 6 cN/dtex
- ťažnosť 15 - 60%
- voskový omak
- zrážavosť (v horúcej vode) 0 - 5%
- dobré elektroizolačné vlastnosti
- vysoký elektrický odpor, ale malá náchylnosť k tvorbe elektrostatického náboja
- sorpcia vody pri 65% RH je 0 – 0,005%
- teplota mäknutia 149 - 154°C
- teplota tavenia 165 - 170°C
- nízka tepelná vodivosť 0,1 – 0,3 W m⁻¹ K⁻¹
- výborná odolnosť voči chemikáliám (porušenie koncentrovanou HNO₃ a horúcimi koncentrovanými alkáliami)

Výhody: odolnosť voči oderu, trvanlivosť, nízka merná hmotnosť, nízka úroveň elektrostatického náboja, ľahká formovateľnosť.

Nevýhody: nízke (pomalé) zotavenie, nízka navlhavosť, nízka tepelná odolnosť (tepelná zrážavosť), neprijemný omak (voskovitý), malá tuhosť, nízka farbiteľnosť (povrchovo), možno farbiť v hmote.

Použitie: technické textílie, bytové textílie (koberce), integrované- viacvrstvové textílie [1].

2. Základné parametre textilných materiálov

Finálne textilie sú vždy ovplyvnené výberom vlákenného materiálu, ktorý má svoju štruktúru a vlastnosti, taktiež procesom výroby, resp. použitými technologickými postupmi pri výrobe dĺžkovej textílie a nasledovne pri výrobe plošnej textílie [2].

2.1 Charakteristika základných parametrov dĺžkových textílií

2.1.1 Jemnosť priadze

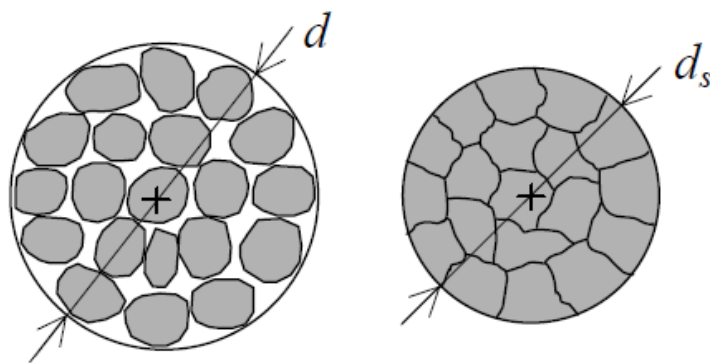
Jemnosť alebo dĺžková hmotnosť priadze T [tex] je jedným zo základných pojmov, ktoré definujú priadzu. Jemnosť priadze je definovaná ako podiel hmotnosti úseku priadze m [g] ku jeho dĺžke l [km]. Môžeme ju taktiež vyjadriť ako súčin hustoty vlákien ρ [kg.m⁻³] a súčtovej plochy všetkých vlákenných rezov v priereze priadze, ktorá sa označuje ako substančný prierez priadze S [m²] [3]. Z hľadiska geometrie tkaniny slúži jemnosť priadze pre stanovenie teoretického priemeru nití.

$$T = \frac{m}{l} = \frac{S l \rho}{l} = S \rho \quad (1)$$

2.1.2 Priemer a substančný priemer priadze

Každá priadza obsahuje medzi vláknami nerovnomerné vzduchové medzery, a preto nie je homogénnym valcom. Z tohto dôvodu nemožno jednoznačne určiť definíciu priemeru priadze d [m]. Obvykle pod pojmom priemer priadze, ide o priemer najmenšieho mysleného valca, v ktorom je sústredená všetka hmota priadze alebo jej podstatná časť. Ak by sa vlákna priadze stlačili tak, aby sa vytlačil všetok vzduch z medzivláknenného priestoru vznikol by kompaktný kruhový prierez substančnej plochy S [m²], so substančným priemerom d_s [m] [4]. Tento priemer je teoretický najmenší možný priemer priadze (bez vzduchu). Substančný priemer d_s je vždy menší ako skutočný priemer priadze d , preto môžeme medzi nimi pozorovať vzťah, $d_s < d$, tak ako je znázornené na obrázku 1.

$$d_s = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4T}{\pi\rho}} \quad (2)$$



Obrázok 1 Rozdiel medzi priemerom priadze d a substančným priemerom priadze d_s . [4]

Z uvedených vzťahov vyplýva, že priadze rovnakej jemnosti, vyrobené rovnakou technológiou, no zo suroviny, ktorá sa odlišuje hustotou, majú rôznu plochu pričného rezu a rôzny substančný priemer. Ak sa použijú suroviny s rozdielnou hustotou pri rovnakej konštrukcii budú geometrické parametre priadze a plošných textílií rozličné [5].

2.1.3 Zaplnenie priadze

Stesnenie vlákien môžeme vyjadriť pomocou zaplnenia. Zaplnenie μ je bezrozmerná veličina, ktorá nadobúda hodnoty v intervale od 0 do 1: $\mu \in (0;1)$. Dá sa definovať *objemovou interpretáciou* ako podiel celkového objemu útvaru zaplnený objemom vlákien [4].

$$\mu = \frac{V}{V_c} \quad (3)$$

Kde V [m^3] je objem vlákien a V_c [m^3] je objem celkový.

Ale taktiež ako *plošná interpretácia zaplnenia*, ktorá plynie zo vzťahu:

$$\mu = \frac{S}{S_c} = \frac{4S}{\pi d^2} = \frac{4T}{\pi d^2 \rho} = \frac{d_s^2}{d^2} \quad (4)$$

kde S [m^2] je súhrnná plocha rezných plôšok jednotlivých vlákien a S_c [m^2] je celková plocha rezov útvaru.

Znalosť hodnoty zaplnenia priadze je zásadná pre vyjadrenie priemeru kruhovej priadze:

$$d = \sqrt{\frac{4S}{\pi\mu}} = \sqrt{\frac{4T}{\pi\mu\rho}} \quad (5)$$

Ďalšou alternatívou výkladu zaplnenia je *hustotná definícia zaplnenia*, tu zaplnenie znamená pomer hustoty vlákenného útvaru k hustote vlákien.

$$\mu = \frac{\rho_V}{\rho_F} \quad (6)$$

Kde ρ_V [kg.m⁻³] je hustota nite a ρ_F [kg.m⁻³] je hustota vlákien.

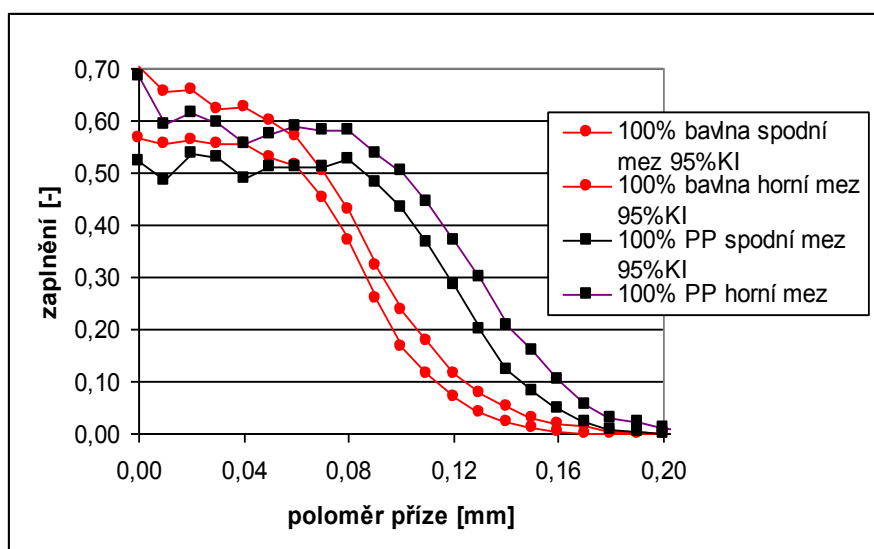
ρ_V sa vypočíta podľa vzťahu :

$$\rho_v = \frac{m_{\text{vlákien}}}{V_c} \quad (7)$$

kde $m_{\text{vlákien}}$ je hmotnosť vlákien v elementárnom celkovom objeme V_c .

Radiálne zaplnenie je možné získať na základe analýzy priečných rezov priadzí. V priečných rezoch priadzí je potrebné zaznamenať trajektórie alebo stredy jednotlivých priereзов vlákien. V prípade, že sú zaznamenané iba stredy vlákien, je potrebné plochu prierezu vlákien dopočítať podľa ich jemnosti a hustoty [5]. Pre našu prácu bolo použité zaplnenie priadze prevzaté už z nameraných dát.

Ako môžeme vidieť na obr. 2 je radiálne zaplnenie prstencových priadzí pradených s rovnakou jemnosťou 29,5 tex z polypropylénových a bavlnených vlákien. Tieto priadze nie je možné vyrábať pri rovnakej jemnosti s rovnakým zákrutovým koeficientom. Zákrutový koeficient polypropylénovej priadze musí byť zvolený nižší, ako u bavlnenej priadze, pretože polypropylénové vlákna majú vyššiu schopnosť sa usporiadať vzhľadom ku svojej geometrii a povrchovým vlastnostiam ako vlákna bavlnené. Polypropylénové vlákna sú v oblasti jadra priadze viac stlačené, radiálne zaplnenie je štatistický významne vyššie u polypropylénovej priadze už od polomeru 0,08 mm, ako u bavlnenej priadze, aj keď bola priadza pradená s nižším zákrutom. Je to spôsobené aj tým, že vďaka väčšej ploche prierezu vlákien v priereze priadze je väčší priemer polypropylénovej priadze [5]. Môžeme skonštatovať, že toto zistenie sa vzťahuje aj pre nami skúmané materiály s jemnosťou 20 tex z polypropylénových a bavlnených vlákien.



Obrázok 2 Priebeh radiálneho zaplnenia bavlnených ($29,5 \text{ tex}$, $59 \text{ m}^{-1} \text{ktex}^{2/3}$) a polypropylénových ($29,5 \text{ tex}$, $58 \text{ m}^{-1} \text{ktex}^{2/3}$) prstencových priadzi- vplyv suroviny [5]

Zaplnenie je možné vyjadriť buď pre celý vlákenný útvar, alebo len v jeho konkrétnych miestach. Z čoho možno charakterizovať štruktúru vlákenného útvaru.

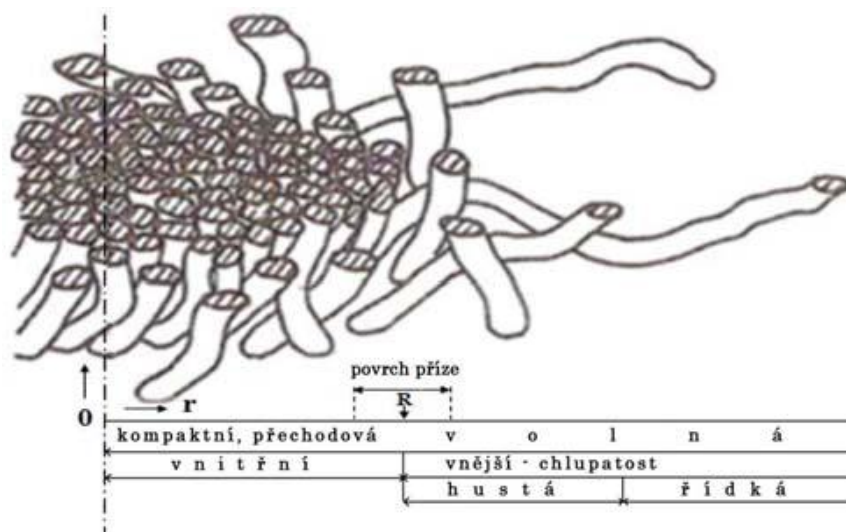
Typy štruktúr podľa zaplnenia

Limitná štruktúra sa vyznačuje ideálnym vzťahom najtesnejšie vzájomne dotýkajúcich sa paralelných valcových vlákien. Tomuto modelu sa najviac blížia multifily, ktoré sú tvorené nekonečnými vláknami kruhového prierezu [6].

Kompaktná štruktúra je štruktúra, v ktorej sa jednotlivé vlákna navzájom nedotýkajú. Vzdialenosť medzi vláknami je menšia, ako je polovica ich vlastného priemeru. Nie je možné, aby medzerou medzi vláknami prešlo ďalšie vlákno, bez toho, aby sa museli pôvodné vlákna rozostúpiť. Kompaktná štruktúra je typom štruktúry s obmedzeným individuálnym pohybom vlákien. Bude preto pomerne pevná, tvrdá a tuhá [7].

Prechodová štruktúra jej vlastnosti budú medzi vlastnosťami štruktúry kompaktnej a voľnej. K prechodu vlákna medzi ostatnými vláknami postačí odsunutie iba jedného vlákna.

Voľná štruktúra je štruktúra, v ktorej môže samostatné vlákno prejsť medzerou v rade, bez posunutia ostatných vlákien. A to vďaka tomu, že vzdialenosť medzi susediacimi vláknami je väčšia, ako ich vlastný priemer. Štruktúra bude preto mäkká, splývavá, porézna, ale zároveň málo mechanicky odolná [7].



Obrázok 3 Typy štruktúr a zobrazenie chlpatosti [4]

Vláknenný materiál je okolo osy priadze silne stlačený a v mnohých miestach sa vlákna navzájom dotýkajú, čo sa podobá kompaktnej štruktúre. Materiál z tejto oblasti priadze je tzv. nosnou podstatou samotnej priadze. So zväčšujúcim sa polomerom hodnota zaplnenia mierne klesá, čo je charakteristické pre prechodovú štruktúru. Ďalej sa zaplnenie začne rýchle zmenšovať a vzniká tak štruktúra voľná.

Zaplnenie v reze priadze nie je jednotné. Najvyššie hodnoty dosahuje v jadre priadze, kde sú vlákna stlačené najviac vonkajšími vrstvami zakrútených vlákien. Smerom k povrchu cez oblasť hustej chlpatosti k oblasti riedkej chlpatosti zaplnenie klesá [8].

2.1.4 Chlpatosť priadze

Chlpatosť je charakterizovaná množstvom z priadze vystupujúcich alebo voľne pohyblivých koncov vlákien alebo vlákenných slučiek [9]. Každá priadza obsahuje medzi vláknami nerovnomerné vzduchové medzery, preto nie je homogénnym valcom a jej rez nie je úplne osovo symetrický. Medzi vláknami je možné pozorovať vzduchové medzery, ktoré sa zväčšujú, čím viac sa blížia k okraju priadze, a tým prechádzajú spojitou do oblasti chlpatosti.

Chlpatosť je možné rozdeliť na oblasť hustej chlpatosti a oblasť riedkej chlpatosti priadze, vid'. obr. 3.

Oblasť hustej chlpatosti priadze

Oblasť hustej chlpatosti sa rozkladá približne do vzdialenosti jedného polomeru priadze od miesta jej povrchu, to je od miesta, kde zisťujeme priemer priadze. V tejto oblasti sa vlákna ešte vzájomne stýkajú v kontaktoch, materiál má charakter „pružnej siete“, ktorá je zrejme veľmi dôležitá pre vnímanie omaku a oder výslednej textílie.

Oblasť riedkej chlpatosti priadze

V tejto oblasti sú obsiahnuté predovšetkým izolované, voľne „plápolajúce“ konce vlákien, ktoré spôsobujú technologické a vzhľadové problémy pri výrobe a používaní plošných textílií [9].

2.2 Charakteristika viackomponentných štaplových priadzí

Viackomponentná priadza je vytvorená dvoma a viacerými typmi vlákien, komponentov. Každé vlákno má svoje charakteristické vlastnosti, ktoré určujú geometrické vlastnosti viackomponentnej priadze [9].

Uvažujme, že vláknitý útvar je zložený z n komponentov. Každá komponenta je označená indexom $i = 1, 2, \dots, n$. Veličiny týkajúce sa jednej komponenty majú index i , veličiny celého vláknového útvaru sú bez indexu [7].

Objem i -tej komponenty je podiel hmotnostného podielu komponenty k jej mernej hmotnosti,

$$V_i = \frac{g_i}{\rho_i} \quad (8)$$

kde V_i [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$] je objem vlákien i -tej komponenty, g_i [-] je hmotnostný podiel i -tej komponenty a ρ_i [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] je merná hmotnosť vlákien i -tej komponenty.

Stredná merná hmotnosť vlákien ρ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] v priadzi je

$$\rho = \frac{1}{\sum_{i=1}^n V_i} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{g_i}{\rho_i} \right)} \quad (9)$$

Objemový podiel komponentov v_i [-] môžeme vyjadriť vzťahom:

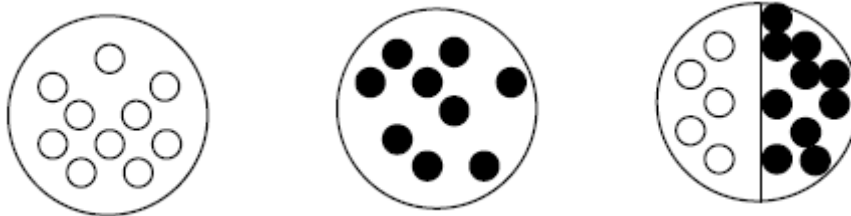
$$v_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (10)$$

Zaplnenie dvojkomponentnej priadze

Dvojkomponentné priadze je možné zidealizovať ako dve priadze jednokomponentné, za podmienky, že boli vyhotovené rovnakou technológiou s totožnou jemnosťou a zákrutom [10]. Na obr. 4 je znázornený idealizovaný prierez dvojkomponentnej priadze.

Za predpokladu, že:

1. vlákna i-tej komponenty sú do zmesovej priadze ukladané s rovnakým zaplnením,
2. objem vlákien v dvojkomponentnej priadzi zodpovedá súčtu objemov vlákien komponentov,
3. objem priadze zodpovedá súčtu celkových objemov- so vzduchom, ktoré zaberajú komponenty v priadzi.



Obrázok 4 Zidealizovaný prierez dvojkomponentnej priadze [9]

Zaplnenie dvojkomponentnej priadze μ^* [-] je definované

$$\mu^* = \frac{V^*}{V_C^*} = \frac{V_1^* + V_2^*}{\frac{V_1^*}{\mu_1^*} + \frac{V_2^*}{\mu_2^*}} = \frac{\mu_1^* \mu_2^*}{v_1 \mu_2^* + v_2 \mu_1^*} = \frac{\mu_1 \mu_2}{v_1 \mu_2 + v_2 \mu_1} = \frac{\mu_1 \mu_2}{\rho_s \left(\frac{g_1}{\rho_1} \mu_2 + \frac{g_2}{\rho_2} \mu_1 \right)} \quad (11)$$

kde μ_i^* [-] je zaplnenie jednokomponentnej priadze vyrobenej z i-tej komponenty a ρ_s [kg.m⁻³] je stredná hustota vlákien v zmesi.

2.3 Charakteristika základných parametrov tkanín

Plošnú textíliu môžeme zdefinovať ako textilný útvar, ktorý má hrúbku niekoľkonásobne menšiu ako dĺžku a šírku. Štruktúra sa periodicky opakuje a je vytvorená princípom tkania na tkacích strojoch.

Tkanina je plošná textília vytvorená z jednej alebo viacerých sústav osnovných a útkových nití. Osnova je orientovaná v pozdĺžnom smere tkaniny a útok v priečnom smere tkaniny. Po vzájomnom previazaní oboch sústav nití vzniká väzba, teda pravouhlá sieť s medzinitnými pórmí.

Štruktúra tkaniny má nepochybne vplyv na posudzovanie tepelnej vodivosti. Tepelná vodivosť tkaniny závisí na jemnosti nití, dostave, prípadne zakrytí, ale taktiež na zvolenej väzbe.

2.3.1 Dostava tkaniny

Dostavou tkaniny rozumieme počet nití na jednotku dĺžky, udáva sa na 100 mm poprípade na 10 mm [11]. Je definovaná samostatne pre osnovnú Do [počet nití/ 100 mm] a samostatne pre útkovú Du [počet nití/ 100 mm] sústavu nití. Dostava tkaniny alebo taktiež hustota tkaniny závisí na silovom pôsobení tkacieho procesu, na jemnosti priadze, materiálovom zložení priadze a na väzbe tkaniny. Ak je dostava osnovných a útkových nití veľká, ide o hustú tkaninu. Pri opačnej možnosti, teda keď je dostava osnovných a útkových nití malá, ide o riedku tkaninu. Najhustejšie previazanie je u plátnovej väzby, žiadna iná väzba nemá väčšie previazanie osnovných a útkových nití.

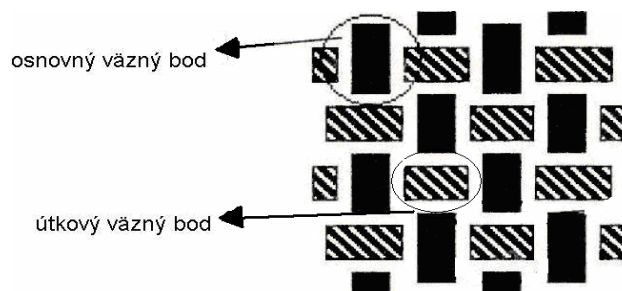
2.3.2 Vязba tkaniny

Spôsob vzájomného previazania sústavy osnovných a útkových nití sa nazýva väzba tkaniny. Každé prekríženie osnovnej a útkovej nite sa nazýva *väzbový bod*. Existujú dva typy ich vzájomnej polohy: *osnovný väzbový bod* a *útkový väzbový bod*.

Ak je osnovná nit nad útkovou, hovoríme o osnovnom väzbovom bode, ak je útková nit nad osnovnou, hovoríme o útkovom väzbovom bode [12].

Najmenší pravidelne sa opakujúci úsek väzby sa nazýva *strieda väzby*. Veľkosť väzby je určená počtom nití v smere osnovy a v smere útku. S veľkosťou väzby sa mení

tvár väzbovej vlny a tým aj geometria väzbovej bunky. Väzby sa delia na základné, odvodené, zložené a voľne zostavené [13].

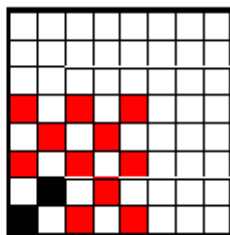


Obrázok 5 Schéma osnovného a útkového väzbového bodu [12]

Plátnová väzba

Plátnová väzba sa radí medzi základné väzby. Je to najpoužívanější, najjednoduchší, ale súčasne i najpevnejší obojstranná väzba s najhustejším previazaním. Strieda väzby je štvorec, ktorý má veľkosť 2 x 2 väzbové body. Tvoria ju dve priadze osnovné a dve priadze útkové. Typické je pre ňu pravidelné striedanie osnovných a útkových väzbových bodov. Hustým previazaním je zaistené dobré zaplnenie tkaniny oboma sústavami nití. Väzba tkaniny je rovnaká na lícnej i na rubnej strane. U plátnovej väzbe je ľahké zbrať každú abnormalitu v hrúbke nití či nepresnosť v tkacom procese, čo sa preukáže na zhoršení kvality tkaniny. Tkanina v plátnovej väzbe má oproti ostatným väzbám menšiu hrúbku, menšiu priedušnosť no väčšiu pevnosť a trvanlivosť.

$$P \frac{1}{1}$$



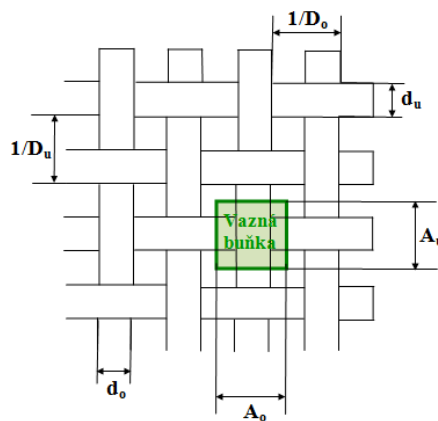
Obrázok 6 Plátnová väzba

2.3.3 Vázbová bunka

Vázbová bunka tkaniny (obr.7) zahŕňa okolie jedného väzbového bodu tj. zakríženie osnovnej a útkovej nite [14]. Rozlišujeme skutočnú rozteč osnovných nití A_o [mm] a skutočnú rozteč útkových nití A_u [mm] pre ktoré platí:

$$A_u = \frac{1}{D_u} \cdot 10^2 \quad (12a)$$

$$A_o = \frac{1}{D_o} \cdot 10^2 \quad (12b)$$



Obrázok 7 Vázbová bunka tkaniny

2.3.4 Previazanie nití

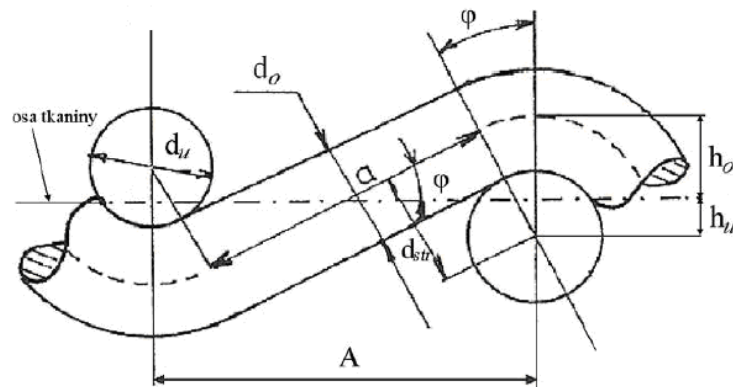
Za najznámejší model pre vyjadrenie previazania nití v tkanine môžeme považovať *Piercov model* [11]. Peircov model je prijateľný z geometrického hľadiska v prevažnej miere skúmaných tkanín.

Vychádza z nasledujúcich predpokladov:

- priemer nite v reze je kruhový – neuvažuje v danom modeli sploštenie ani jednej sústavy nití v tkanine
- väzná vlna osnovy alebo útku, je nahradená oblúkom kružnice a priamkou (pri tesnom previazaní je priamková – flotážna časť rovná nule, väzná vlna v mieste kríženia v danom prípade je štvrt' oblúku kružnice)
- väzná vlna je v jednoduchom previazaní – v plátnovej väzbe. V prípade neplátnových a vyšších odvodených väzieb je úsek nepreväzujúcich nití v tkanine nahradený konštantným úsekom vo veľkosti flotáže.

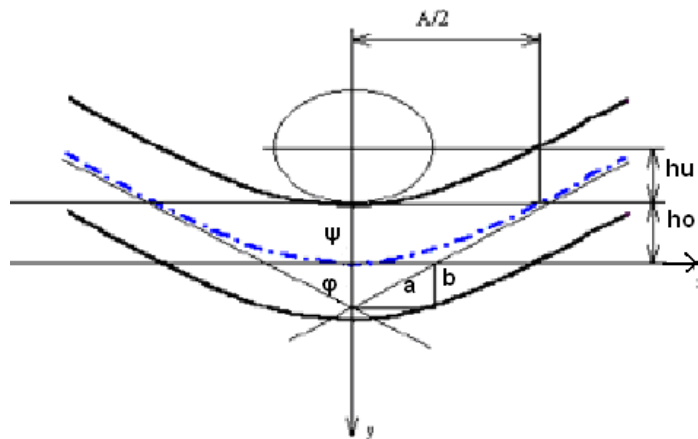
Peircov model, obr.8, býva obvykle popísaný týmito parametrami:

- priemery jednotlivých nití v reze: priemer osnovy d_o , priemer útku d_u ,
- stredný priemer nite: $d_{str} = d_o + d_u / 2$
- šírka rezu: veľkosť roztečí osnovy A_o , útku A_u ,
- výška zvlneenia: osnovnej nite h_o , útkovej nite h_u ,
- súčet výšok väzných vln: $h = h_o + h_u$
- vzdialenosť osí nití: $h_o + h_u = (d_o + d_u) / 2$
- uhol zvlneenia φ .



Obrázok 8 Peircov model previazania [11]

Ďalším teoretickým modelom je *hyperbolický model* určený pre vyjadrenie dĺžky nite vo väznej vlne a uhlu previazania priadze [15]. Hyperbolický model je zjednodušeným modelom Peirceovho modelu. V tomto modeli vo väzbovom bode tkaniny sa priadza deformuje, nie je kruhová ako v klasickom Piercovom modeli, popisuje sa dvoma charakteristickými parametrami a , b a prierez sa nahrádza Kempovým prierezom, elipsou alebo šošovkou.

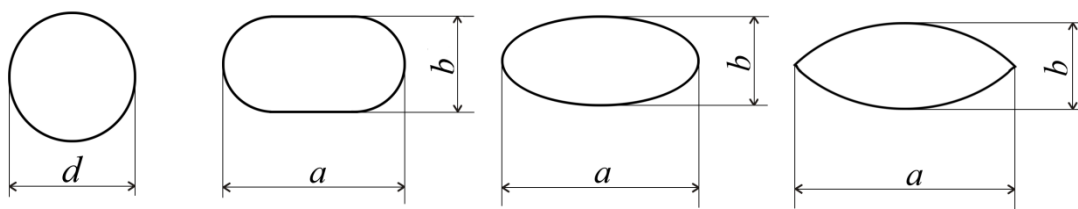


Obrázok 9 Hyperbolický model previazania nití v tkanine [11]

Pre vyjadrenie tohto modelu je podstatné stanoviť veľkosť poloos a , b . Na to, aby sa mohla vypočítať veľkosť parametrov a a b je potrebné poznať i nižšie uvedené parametre tkaniny:

- $A/2, B/2$ – rozstup osnovných resp. útkových nití v previazaní,
- h_o, h_u – výška väznej vlny osnovných resp. útkových nití,
- φ, ψ – uhly previazania ohybovej čiary osnovnej resp. útkovej nite,
- ρ – polomer krivosti vo vrchole previazania pre jednoduché priadze, pre ktoré platí: $\rho = \frac{a^2}{b}$.

Od charakteristiky teoretických modelov prechádzame k jednému z modelov deformácie priečného rezu nití, ktorý vyplýva z teórie a experimentu stlačovania nití medzi dvoma tuhými rovnobežnými doskami. Pri stlačovaní nití medzi rovnobežnými doskami, taktiež ako v tkanine, dochádza k deformáciám pôvodne kruhového priečného rezu, na modely používané pre deformovanú priadzu vo väzbovom bode, vid'. obr. 10 - ovál (kemp), elipsa, šošovka. Zjednodušené môžeme uvažovať, obrys zdeformovanej nite ohraničený dvoma polkružnicami o polomere B a dvoma úsečkami o dĺžke AB , tzv. Kempov prierez. Najčastejšie je tvar priečného rezu nití v tkanine aproximovaný elipsou [15].



Obrázok 10 Deformovaný prierez nite: ovál (kemp), elipsa, šošovka [15]

Môžeme zdefinovať nasledujúce bezrozmerné veličiny:

$$\text{pomerné rozšírenie priadze } \alpha = \frac{a}{d} \quad (13)$$

$$\text{pomerné stlačenie priadze } \beta = \frac{b}{d} \quad (14)$$

$$\text{sploštenie priadze } \gamma = \frac{b}{a} \quad (15)$$

kde a [mm] je rozšíření priadze, b [mm] je stlačenie priadze, d [mm] je priemer priadze.

Plochu deformovaného prierezu S_{def} [mm²] je možné určit ako:

$$S_{Kemp} = \frac{\pi \cdot b^2}{4} + (a - b) \cdot b \quad (16a)$$

$$S_{elipsa} = \frac{\pi \cdot a \cdot b}{4} \quad (16b)$$

$$S_{šošovka} = \frac{\sqrt{a^2 + \frac{4}{3 \cdot b^2}} \cdot (a^2 + b^2)}{4 \cdot b} - \frac{a \cdot (a^2 - b^2)}{4 \cdot b} \quad (16c)$$

Obvod deformovaného prierezu L_{def} [mm]:

$$L_{Kemp} \approx \pi \cdot b + 2 \cdot (a - b) \quad (17a)$$

$$L_{elipsa} \approx 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{(a^2 + b^2)}{2}} \quad (17b)$$

$$L_{šošovka} \approx 2 \sqrt{a^2 + \frac{4}{3b^2}} \quad (17c)$$

2.3.5 Zotkanie nití v tkanine

Zotkanie vyjadruje skrátenie osnovy, či útku vplyvom previazania nití v tkanine po zatkaní [11]. Zotkanie je definované zvlášť pre osnovu, zvlášť pre útok a pri vyjadrení platí:

$$s_o = \frac{L_o - L_{vz tk}}{L_{vz tk}} \cdot 10^2 \quad (18a)$$

$$s_u = \frac{L_u - \check{S}_{vz tk}}{\check{S}_{vz tk}} \cdot 10^2 \quad (18b)$$

kde s_o [%] je zotkanie osnovnej nite, s_u [%] je zotkanie útkovej nite, L_o [mm] je dĺžka osnovnej nite vytiahnutej z tkaniny, L_u [mm] dĺžka útkovej nite vytiahnutej z tkaniny,

L_{vztk} [mm] délka vzorky tkaniny v smeru po osnove, \check{S}_{vztk} [mm] šírka vzorky tkaniny v smeru po útku.

2.3.6 Hrúbka tkaniny

Hrúbka tkaniny je kolmá vzdialenosť na tkaninu, ktorú určuje rozmer medzi hornou a spodnou stranou textílie [11]. Podľa ČSN EN ISO 5084 [16] ide o meranie kolmej vzdialenosti medzi základnou doskou, na ktorej sa nachádza vzorka a kruhovým prítlačným kotúčom, teda čeľusťou. Čeľusť pôsobí na hodnotenú tkaninu pod predpísaným prítlakom. Hrúbka tkaniny je ovplyvnená priemerom osnovných a útkových nití, dostavou tkaniny, použitou väzbou, ale taktiež použitým materiálom. V ideálnom prípade by bola hrúbka tkaniny určená ako súčet priemeru osnovnej a útkovej nite. Všet v skutočnosti je situácia trochu zložitejšia. Pri vzájomnom previazaní osnovných a útkových nití dochádza k ich deformácií, tzn., že priemer prestáva byť kruhový a nadobúda skôr elipsovitý tvar.

K meraniu hrúbky tkaniny sa môžu použiť hrúbkomery rôznych konštrukcií. Princíp merania však ostáva stále ten istý. Hrúbka tkaniny sa dá však merať aj z priečneho rezu.

Použitý prístroj: *Tloušťkoměr FF – 27*

Ide o elektronický prístroj so širokým využitím. Môže byť využitý na meranie textílií, kože, umelých hmôt a podobne. Prístroj sa skladá z tlakového mechanizmu a elektroniky. Tlakový mechanizmus vytvára zaťaženie na vzorku v rozsahu 0,1-1000 kPa cez vymeniteľný prítlačný kotúč. Prítlačný kotúč s plochou 10 cm² sa pohybuje rýchlosťou 1 mm.s⁻¹ v smere kolmom k povrchu základnej dosky. Po 30 sekundách sa hodnota zmeranej hrúbky zobrazí na displeji prístroja.



Obrázok 11 Tloušťkoměr FF-27

2.3.7 Plošná a objemová hmotnosť tkaniny

Hmotnosť tkaniny je súčtom hmotnosti všetkých nití útkovej i osnovnej sústavy. Hmotnosť tkaniny je závislá na dostave jednotlivých sústav, ich jemnosti a taktiež na zotkaní nití v týchto sústavách [11].

Plošná hmotnosť tkaniny m_s [kg.m⁻²] vyjadruje hmotnosť plošnej jednotky tkaniny:

$$m_s = \frac{m_{tk}}{S_{tk}} \quad (19)$$

kde m_{tk} [kg] je hmotnosť tkaniny, S_{tk} [m²] plocha 1m² tkaniny.

Objemová hmotnosť tkaniny m_v [kg.m⁻³] vyjadruje hmotnosť objemovej jednotky tkaniny:

$$m_v = \frac{m_{tk}}{V_{tk}} = \frac{m_{tk}}{S_{tk} \cdot t_{tk}} = \frac{m_s}{t_{tk}} \quad (20)$$

kde V_{tk} [m³] je objem 1m² tkaniny a t_{tk} [m] je hrúbka tkaniny.

2.3.8 Zakrytie a zaplnenie tkaniny

Obidva parametre sa používajú k popisu štruktúry tkaniny. V jednoduchosti môžeme povedať, že tieto veličiny popisujú koľko nite sa v tkanine nachádza.

Zaplnenie μ , vyjadruje pomer objemu nite k celkovému objemu textílie, alebo jej väzbového bodu. Plnosť tkaniny, je pomer konkrétnej dostavy k limitnej dostave, teda maximálne dosiahnuteľnej.

Zaplnenie tkaniny je možné stanoviť podľa objemovej definície ako:

$$\mu = \frac{V_Y}{V_{tk}} \quad (21)$$

kde V_Y [m³] je objem priadze a V_{tk} [m³] je objem tkaniny.

Zaplnenie je taktiež podiel hustôt a môže byť interpretované ako:

$$\mu = \frac{\rho_{tk}}{\rho_F} \quad (22)$$

kde ρ_F [kg.m⁻³] je hustota vlákenného materiálu a ρ_{tk} [kg.m⁻³] je hustota tkaniny.

Zakrytie tkaniny Z sa udáva bezrozmerným koeficientom a charakterizuje pomer plochy zakrytej niťou k celkovej ploche tkaniny, alebo jej väzbového bodu. Možno ho rozdeliť na zakrytie osnovnými alebo útkovými niťami.

Zakrytie tkaniny je možné určiť viacerými postupmi. Jedným zo spôsobov je zakrytie tkaniny jednou sústavou nití, buď osnovou alebo útkom, kde je zakrytie vyjadrené ako pomer plochy osnovnej alebo útkovej nite k ploche väzbového bodu [2].

$$Z_{lo} = \frac{d_o A_u}{A_o A_u} = \frac{d_o}{A_o} = d_o D_o \quad (23a)$$

$$Z_{lu} = \frac{d_u A_o}{A_o A_u} = \frac{d_u}{A_u} = d_u D_u \quad (23b)$$

Kde Z_{lo} [1] je zakrytie osnovy, Z_{lu} [1] je zakrytie útku, d_o [m] priemer osnovnej nite, d_u [m] priemer útkovej nite, A_o [m] rozteč osnovnej nite v tkanine, A_u [m] rozteč útkovej nite v tkanine, D_o [1/m] dostava osnovných nití v tkanine, D_u [1/m] dostava útkových nití v tkanine.

Ďalším možným spôsobom je vyjadrenie zakrytia pomocou dvoch sústav nití. Kde plocha väzbového bodu je $A_o A_u$, plocha zakrytá osnovou je $d_o A_u$, plocha zakrytá útkom je $d_u A_o$, a dvakrát súčasne osnovnou a útkovou niťou zakrytá plocha je $d_o d_u$. Raz sa teda musí táto plocha odpočítať [2].

$$Z = \frac{A_u d_o + A_o d_u - d_o d_u}{A_o A_u} = \frac{d_o}{A_o} + \frac{d_u}{A_u} - \frac{d_o d_u}{A_o A_u} = Z_{lo} + Z_{lu} - Z_{lo} Z_{lu} \quad (24)$$

Zakrytie tkaniny môžeme ponímať ako kolmý priemet oboch sústav nití, osnovných a útkových, do roviny, ktorá je rovnobežná s rovinou tkaniny [17].

$$Z = D_o d_o + D_u d_u - d_o d_u \cdot D_o D_u \quad (25)$$

3. Pórovitosť

Z hľadiska tepelnej vodivosti je pórovitosť považovaná za jeden z najdôležitejších parametrov štruktúry tkaniny. Pórovitosť je možné vyjadriť či stanoviť radom teoretických postupov i rôznymi experimentálnymi metódami. Vzhľadom ku zložitosti textilnej štruktúry, každá z metód obsahuje nejaké zjednodušujúce predpoklady, ktoré vnášajú do výsledkov isté nepresnosti. Nie je preto jednoduché nájsť tu najlepšiu variantu pre vyjadrenie pórovitosti textilného materiálu.

Pórovitosť P , je bezrozmerná veličina, ktorá hovorí o tom, koľko vzduchu je obsiahnutého v textílii. Je možné ju vyjadriť ako pomerné číslo v intervale (0; 1), alebo v percentách, a to v intervale (0; 100). Pri použití percentuálneho vyjadrenia, vyjadruje pórozita percentuálne zastúpenie vzduchu v textílii. Tento poznatok vypovedá iba o tom koľko vzduchu je v textílii, ale nehovorí nič konkrétne o rozložení vzduchu v textílii, neurčuje veľkosť pórov, ani ich typ, tvar či vzájomné usporiadanie. Na pórozitu má vplyv tvar priečneho rezu vlákna, ktorý určuje, ako tesne k sebe vlákna v priadzi dosadajú, najmä vo vnútorných oblastiach priadze. Štruktúru textílie je dôležité chápať ako komplex celého radu parametrov. Póry v plošnej textílii sa delia do troch základných kategórií podľa ich výskytu:

- póry vo vnútri vlákien,
- póry vo vnútri nite vytvorené medzi vláknami,
- póry vytvorené medzi osnovnými a útkovými niťami, tzv. medzinitné póry.

Z hľadiska geometrie sú priadze zjednodušene uvažované v podobe valcov s kruhovým prierezom, deformácie spôsobené zatkaním sú zanedbané [11].

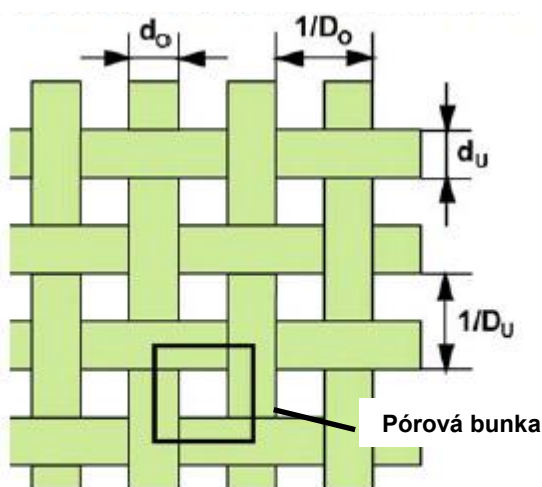
Pórozitu P [1] môžeme obecné vyjadriť podľa Neckáře [7] ako podiel objemu vlákenného útvaru vyplnený vzduchom:

$$P = \frac{V - V_c}{V_c} = 1 - \frac{V}{V_c} = 1 - \mu \quad (26)$$

kde V_c je celkový objem vlákenného útvaru, V objem vlákien, $V - V_c$ je objem vzduchu, čiže objem medzivlákenného priestoru.

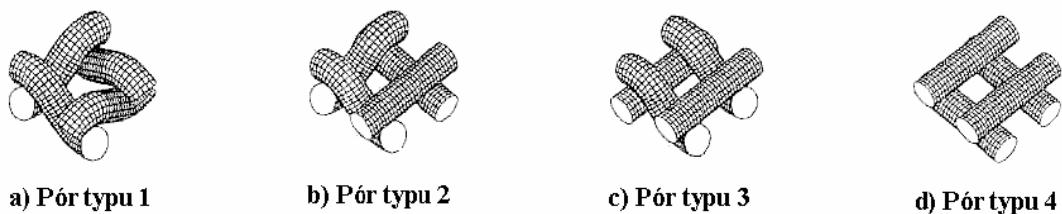
3.1 Definícia štruktúrnych modelov – pórových buniek

Menšou štruktúrnou jednotkou ako je strieda väzby je tzv. väzbová bunka tkaniny. Väzbová bunka zahŕňa okolie jedného väzbového bodu, vid'. odstavec 2.3.3. Na obr. 12 je väzbová bunka posunutá a vytvára okolie jedného medzinitného póru v tkanine. Môžeme teda hovoriť o *pórovej bunke*. Pri kolmom priemete tkaniny do roviny sa všetky pórové bunky javia ako rovnaké (zanedbaná nerovnomernosť dostav a jemnosť nití). Ak je však tkanina ponímaná ako 3-D objekt, je istý ich tvarový rozdiel v závislosti na spôsobe previazania nití v tkanine [11].



Obrázok 12 Priemet tkaniny v plátnovej väzbe do roviny tkaniny [11]

Práce, ktoré sa zaoberajú modelovaním pórozity tkaniny, vychádzajú zo základného rozdelenia štyroch typov pórov. Definíciu štyroch základných typu pórových buniek (obr. 13) vykonal Backer [18]. Akákoľvek tkanina zložená z dvoch navzájom previazaných a na seba kolmých sústav nití môže byť popísaná najrôznejšími kombináciami týchto základných pórových buniek.



Obrázok 13 Štyri typy pórových buniek podľa Backera [11]

Ak platí, $D_o = D_u$ a $d_o = d_u$ pri výpočtoch geometrických parametrov nezáleží na smere pórových buniek v tkanine. No ak platí, že $D_o \neq D_u$ alebo $d_o \neq d_u$ je potrebné vykonať ešte rozdelenie póru typu 3 na:

Pór 3A : 2 nezakřížené osnovné úseky 2 zakřížené útkové úseky

Pór 3B : 2 zakřížené osnovné úseky a 2 nezakřížené útkové úseky

Táto práca sa zaoberá tkaninami v plátnovej väzbe, preto bude uvedený iba pór typu 1 (obr. 14). Pór typu 1: je najpreviazanejší, má najväčšie zotkanie a najmenšiu plochu póru.



Obrázok 14 Plošné zobrazenie póru typu 1

3.2 Modely pórovitosti

3.2.1 Hustotná pórovitosť

Militký v svojej publikácii [19] uvádza, že hustotnú pórovitosť P_ρ je možné vypočítať podľa vzťahu:

$$P_\rho = 1 - \frac{\rho_{tk}}{\rho_F} \quad (27)$$

kde ρ_F [kg.m⁻³] je hustota vlákenného materiálu a ρ_{tk} [kg.m⁻³] je hustota tkaniny.

ρ_{tk} je definovaná vzťahom:

$$\rho_{tk} = \frac{m_s}{t_{tk}} \quad (28)$$

Kde m_s [kg.m⁻²] je plošná hmotnosť tkaniny a t_{tk} [m] je hrúbka tkaniny.

Pomocou poznatkov o základných charakteristikách, ako je plošná hmotnosť tkaniny m_s , hrúbka tkaniny t_{tk} a hustota vlákien ρ_F , môžeme vypočítať hustotnú pórovitosť v tvare:

$$P_\rho = 1 - \frac{m_s}{\rho_F t_{tk}} \quad (29)$$

Ak je textília vyrobená zo zmesi vlákenných materiálov, ako v tomto prípade, je nutné hustotu vlákenného materiálu nahradiť váženým harmonickým priemerom ρ_{sm} hustôt jednotlivých materiálových komponentov zastúpených v zmesi:

$$\rho_{sm} = \frac{1}{\sum_{i=1}^k \frac{g_i}{\rho_{Fi}}} \quad (30)$$

kde ρ_{Fi} je hustota i-tej komponenty, g_i je jej hmotnostný podiel v zmesi.

Z ohľadu bezchybného vyjadrenia pórovitosti môže byť nevýhodou zjednodušený predpoklad, že textília je chápaná ako plochá doštička s rovinným horným a spodným povrchom. Reliéf povrchu plošnej textílie, ale rovinný nie je a za póry v textílii sú brané aj priestory vyplnené vzduchom, ktoré sú už mimo textílie.

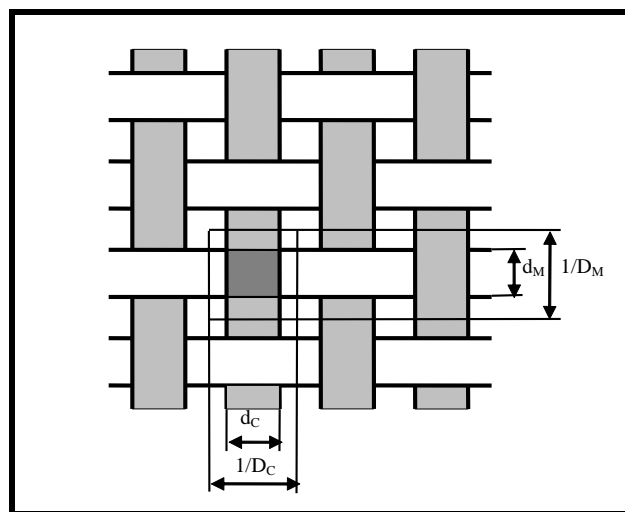
3.2.2 Objemová pórovitosť

Objemová pórovitosť je definovaná vzťahom:

$$P_V = 1 - \frac{V_Y}{V_{tk}} = 1 - \frac{V_Y}{t_{tk}} \quad (31)$$

Kde $V_{tk} [m^3]$ je objem $1m^2$ tkaniny a $V_Y [m^3]$ objem priadze v $1m^2$ tkaniny.

Presnejšie stanovenie objemovej pórovitosti je založené na idealizovanej štruktúre povrchu tkaniny, obr. 15.



Obrázok 15 Idealizovaný povrch projekcie tkaniny (d_c - priemer útkovej priadze, d_m - priemer osnovnej priadze) [19]

Jednotková bunka (prvok štruktúry), ktorá je zobrazená plnou čiarou obsahuje časť zakriveného útku a osnovných nití. Objemy a dĺžky týchto častí sú počítané z rovnice odvodené od Militkého [19]. Správny objem pórovitosti je potom definovaný ako:

$$P_V^* = 1 - \frac{\pi}{4(d_o + d_u)} [d_u^2 * D_u \sqrt{1.16 * d_u^2 * D_u^2 + 1} + d_o^2 * D_o \sqrt{1.16 * d_o^2 * D_o^2 + 1}] \quad (32)$$

3.2.3 Plošná pórovitosť

Klasický 2-D model alebo plošná pórovitosť je pórozita P_s [1] odvodená z prostej kolmej projekcie priadze do roviny tkaniny, zanedbáva 3 dimenzionálnu štruktúru tkaniny a vplyv väzby. Je definovaná ako doplnok k plošnému zakrytiu tkaniny. Vypočíta sa podľa vzťahu:

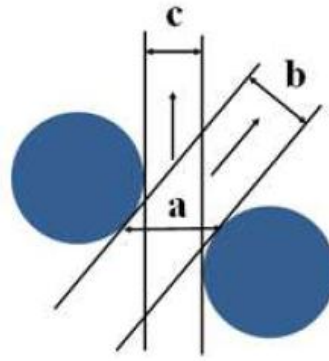
$$P_s = 1 - Z = 1 - (D_o d_o + D_u d_u - d_o d_u D_o D_u) \quad (33)$$

Tento model vypovedá iba o tom, koľko vzduchu je v textílii obsiahnutého, ale nehovorí nič o jeho rozložení, o distribúcií pórov, ich type, tvare a vzájomnom usporiadaní [6]. Nepostihuje priestorovú štruktúru tkaniny a preto nie je použiteľný pre husto dostavané tkaniny.

3.2.4 Modifikovaný 2-D model pórovitosti tkaniny podľa Gooijera

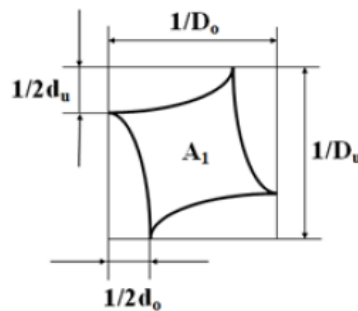
U husto dostavených tkanín, kde je otvorená projektovaná plocha prakticky nulová, by podľa klasickej 2-D interpretácie pórozity, nedochádzalo k žiadnemu priechodu vzduchu. Aj u týchto textílií však k priechodu vzduchu dochádza, čo znamená, že vzduch nemusí prechádzať len kolmo na textíliu, ale môže pretekať medzi niťami aj v šikmom smere. Medzi niťami vznikajú rôzne naklonené póry, v ktorých dochádza k obtekaniu nití prúdom vzduchu. Touto úvahou sa vo svojej práci detailne zaoberal Gooijer [20]. Vychádzal z Backerovej [18] definície štyroch typov pórových buniek, ktoré boli uvedené vyššie (obr.13).

Pre stanovenie najužšej priečnej plochy póru vykonal Gooijer priečne rezy póru v rovine tkaniny. Na obr. 16 môžeme vidieť, že takto získaná plocha póru (rozmer a) je väčšia ako u šikmého smeru (rozmer b). Priemer plošného póru (rozmer c) ukazuje plochu (najmenšia) póru pri kolmom priemetu do roviny.



Obrázok 16 Možnosti stanovenia plochy póru; a – rez v najužšom mieste póru vedený rovnobežne s rovinou tkaniny; b – rez v najužšom mieste póru vedený kolmo na šikmý smer prúdenia vzduchu; c – rez póru interpretovaný ako priemet otvorenej plochy tkaniny do roviny [20]

Gooijer vykonal priemet namočených obvodov pórov v ich najužšom mieste, ktoré zohľadňuje ich tvarovú odlišnosť. Výsledkom sú plochy póru. Týmto spôsobom je do úvah o vzájomnom vzťahu medzi štruktúrou tkaniny a jej priedušnosťou zahrnutý čiastočne aj vplyv previazania nití v tkanine respektíve vplyv väzby. Na obr. 17 je znázornená plocha póru typu 1.



Obrázok 17 Priemet namočeného obvodu prvého typu pórovej bunky v tkanine podľa Gooijera [20]

Konečný vzťah pre výpočet otvorenej plochy póru A_1 [m²] a jeho namočeného obvodu W_1 je uvedený nižšie.

$$A_1 = \frac{1}{D_o} \frac{1}{D_u} - \frac{\pi}{4} d_u \left(\frac{1}{D_o} - \frac{d_o}{2} \right) - \frac{\pi}{4} d_o \left(\frac{1}{D_u} - \frac{d_u}{2} \right) \quad (34)$$

$$W_1 = \pi \left[\sqrt{\frac{\frac{d_o^2}{2} \left(\frac{1}{D_u} - \frac{d_u}{2} \right)^2}{2}} + \sqrt{\frac{\frac{d_u^2}{2} \left(\frac{1}{D_o} - \frac{d_o}{2} \right)^2}{2}} \right] \quad (35)$$

Kde D_o , D_u [1/m] sú dostavy osnovných a útkových nití, d_o , d_u [m] sú priemery osnovných a útkových nití.

Porozitu P_G [1], môžeme stanoviť ako podiel celkovej plochy póru I v striede väzby A_I a celkovej plochy striedy väzby tkaniny.

$$P_G = \frac{n_{p1} A_1}{\frac{1}{D_o} n_o \frac{1}{D_u} n_u} \quad (36)$$

Kde n_o a n_u sú počty osnovných a útkových nití v striede väzby a n_{p1} je počet pórových buniek typu $p1$ obsiahnutých v striede väzby.

Prednosťou tohto modelu je jeho jednoduchosť, jeho použiteľnosť aj pre husto dostavané tkaniny. Taktiež skutočnosť, že pre výpočet porozity je potrebné poznať iba základné konštrukčné parametre tkaniny (D_o , D_u , d_o , d_u , n_o , n_u).

3.2.5 Zjednodušený 3-D model pórovitosti tkaniny

Zjednodušený 3-D model pórovitosti tkaniny taktiež vychádza z Backeroveho rozlíšenia štyroch typov pórov a je podrobnejšie popísaný v práci Havrdovej [6].

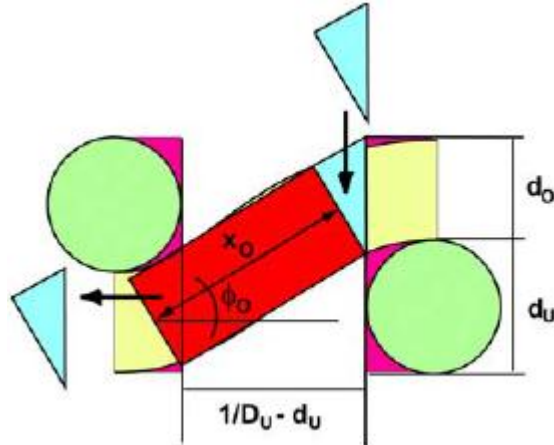
Každá pórová bunka je tvorená z dvoch úsekov osnovných nití a dvoch úsekov útkových nití. Bunky sú od seba rozlíšené rôznymi kombináciami zakrížených a nezakrížených úsekov týchto nití. Celkový objem jednej ľubovoľnej pórovej bunky V_C je:

$$V_C = \frac{1}{D_o} \frac{1}{D_u} (d_o + d_u) \quad (37)$$

Situácia je zjavná v prípade vyrovnanej tkaniny, kedy platí, že hrúbka tkaniny $t = d_o + d_u$. Ak osnovné a útkové nite nie sú zvlnené v rovnakej miere, je hrúbka tkaniny väčšia. Povrch tkaniny nie je rovinný, ale predstavuje určitý reliéf. Preto sa zdá rozumné vymedzovať aj v tomto prípade „vertikálny rozmer“ bunky súčtom priemerov osnovnej a útkovej nite.

Celkový objem pórovej bunky je čiastočne vyplnený hmotou priadze. V prípade nezakríženého úseku je objem priadze v pórovej bunke menší, ako v prípade

zakříženého úseku. V místech vázbových bodov je objem pórovej bunky braný ako plne vyplnený hmotou priadze. V týchto miestach sa štyri typy pórových buniek nijak významne neodlišujú. Líšia sa najmä v miestach spojovacích úsekov vázbových bodov, v miere previazaní resp. v miere zaplnení. Pórová bunka typu 1 je najviac zaplnená, je najpreviazanejšia a zároveň najmenej priedušná [11].



Obrázok 18 Schéma zjednodušeného 3-D modelu pórozity [11]

Objemy nezakříženého V_{ZO-} a zakříženého V_{ZO+} spojovacieho úseku nite zasahujúcej do jednej pórovej bunky môžeme vyjadriť ako polovice valcov:

$$V_{ZO-} = \frac{\pi d_o^2}{8} \left(\frac{1}{D_u} - d_u \right) \quad (38a)$$

$$V_{ZO+} = \frac{\pi d_o^2}{8} \frac{\left(\frac{1}{D_u} - d_u \right)}{\cos \varphi} \quad (38b)$$

Kde φ je uhol previazania osnovnej nite. Pre objemy nezakříženého V_{zu-} a zakříženého V_{zu+} spojovacieho úseku útkovej nite je potrebné zameniť indexy „o“ za „u“ a uhol φ za uhol ψ . Na základe uvedených vzťahov možno vyjadriť pre pórovou bunku typu 1 objem priadze nevyplnenej hmotou, resp. vyplnenej vzduchom ako:

$$V_1 = V_c - [d_o d_u (d_o + d_u) + 2V_{zo+} + 2V_{zu+}] \quad (39)$$

Pórovitosť tkanín s plátňovou väzbou tak môžeme vyjadriť ako:

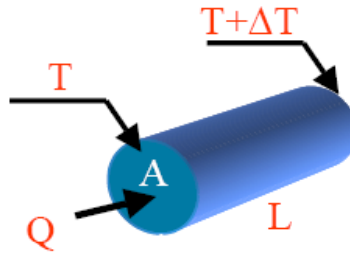
$$P_h = \frac{n_{p1} V_1}{V_c n_o n_u} \quad (40)$$

Kde n_{pl} je počet jednotlivých typov pórových buniek obsiahnutých v striede väzby n_o a n_u . Nevýhodou tohto modelu je, že okrem parametrov D_o , D_u , a d_o , d_u je potrebné poznať ešte uhol previazania osnovnej a útkovej nite. Pre stanovenie tohto parametru sú potrebné ďalšie zjednodušujúce predpoklady, čo môže viesť ku skresleniu výsledku.

V našej práci sme sa zamerali na póry v priadzi, ktorými sa zaoberá plošná pórovitosť a na póry medzi vláknami, ktoré opisuje hustotná pórovitosť. Objemovou pórovitosťou a ďalšími modelmi sa bližšie zaoberajú už publikované výskumné práce.

4. Tepelná vodivost'

Tepelná vodivost' λ , je fyzikálna veličina vyjadrujúca schopnosť danej látky viesť teplo, vid'. obr. 19. Základnou jednotkou je $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$. Túto veličinu charakterizuje súčiniteľ tepelnej vodivosti a predstavuje rýchlosť, akou sa teplo šíri a prechádza z jednej, zahriatej časti materiálu do druhej, chladnejšej časti materiálu. Predpokladom je, že teplo sa šíri iba jedným smerom.



Obrázok 19 Tepelný transport pevným telesom [21]

Tepelná vodivost' je jednorozmerný ustálený stav prúdenia tepla telesom, prechádza plochou prierezu A a dĺžkou L v smere x , dôsledkom tepelného rozdielu ΔT , môžeme ju vyjadriť Fourierovou rovnicou:

$$Q = -\lambda A \frac{\Delta T}{L} \quad (41)$$

kde Q [W] je tepelný tok v smere x na jednotku plochy kolmo k prúdeniu tepla a λ $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$ je tepelná vodivost'. Tepelná vodivost' je teda transport tepelného toku cez materiál v dôsledku teplotného gradientu [21].

Nestacionárne jednodimenzionálne vedenie tepla v stacionárnom médiu bez tepelnej produkcie je opísané parabolickou diferenciálnou rovnicou.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D_T \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (42)$$

Súčiniteľ prestupu tepla alebo tepelná vodivost' D_T $[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$ je definovaný ako:

$$D_T = \frac{\lambda}{\rho c_p} \quad (43)$$

Kde ρ $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$ je hustota a c_p $[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$ je merná tepelná kapacita pri konštantnom tlaku.

Tepelná vodivost' pevných částic je asi $1-5 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$, tepelná vodivost' vody je $\lambda_{\text{water}} = 0,6 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$, tepelná vodivost' ľadu je $\lambda_{\text{ice}} = 2,24 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$ a tepelná vodivost' suchého vzduchu je $\lambda_{\text{a}} = 0,024 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$.

Neexistujú ľiadne zodpovedajúce teórie pre predikciu tepelnej vodivosti tavenín polymérov alebo pevných látok. Jednoduchý Phononov model tepelnej vodivosti je popísaný Van Krevelenom. Väčšina z poloempirických výrazov pre predikciu tepelnej vodivosti je založená na Debyeho rovnici:

$$\lambda = C_p \rho u L \quad (44)$$

kde $L \text{ [m]}$ je vzdialenosť medzi molekulami v „susedných izotermických vrstvách“ a $u \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$ je rýchlosť elastických vĺn (rýchlosť zvuku). Za predpokladu, že L je takmer konštantná a nezávislá od teploty, môžeme očakávať, že existuje priama úmernosť medzi tepelnou vodivosťou D_T a rýchlosťou zvuku u .

Proces tepelného transportu má prebehnúť tak, že energia sa prenáša kvantovo z vrstvy do vrstvy rýchlosťou zvuku a množstvo prenesenej energie sa predpokladá, že je úmerné hustote a tepelnej kapacite. Prenos molekúl neprebíha vo veľkom meradle [21].

V kryštalických pevných látkach, a tiež vo vysoko kryštalických pevných polyméroch, je tepelná vodivosť rozšírená o vzájomné pôsobenie molekúl. Všetky konštanty umožňujúce používať rovnicu (44) pre predikciu tepelnej vodivosti polymérnych vlákien pri izbovej teplote sú publikované v knihe [22]. Kryštalické polyméry vykazujú oveľa vyššiu tepelnú vodivosť ako amorfné. Závisí to predovšetkým od teploty $T \text{ [K]}$. Pre amorfný polyetyléntereftalát bola zistená hodnota $0,218 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$ a pre amorfný polypropylén hodnota $0,172 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$.

Tepelná vodivosť textilných vlákien je všeobecne závislá na chemickom zložení, technológií prípravy (pradenie, tepelné spracovanie), pórovitosti a obsahu vody. Pre štandardnú atmosféru je relatívna vlhkosť vzduchu $RH = 65\%$, ktorá môže ovplyvniť obsah vlhkosti vlákien. Veľmi hrubé priblíženie obsahu vlhkosti v bavlnených vláknach $RE \text{ [%]}$ pri rôznych teplotách môže byť vyjadrené vzťahom

$$RE = (0.8067 + 0.02912 RH) \sqrt[4]{100 - T} \quad (45)$$

Haghi [23] publikoval tepelnú vodivosť pre niektoré typické vlákna. Pre neporézne polypropylénové vlákna našiel tepelnú vodivosť $\lambda = 0,518 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$ a pre porézne akrylové vlákna $\lambda = 0,288 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$. Pre hydrofilné vlákna je tepelná vodivosť založená na obsahu vlhkosti, znovu označenie RE [%]. Haghi našiel závislosť λ na RE pre bavlnené vlákna v podobe lineárneho modelu. Tento model má chybu v poradí vodivosti, pretože Rengasamy a Kawabata našli hodnotu tepelnej vodivosti suchej bavlny $\lambda_{\text{cot}} = 0,352 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$. Túto hodnotu tepelnej vodivosti suchej bavlny sme použili aj my pri predikovaní tepelnej vodivosti pomocou dvojfázového modelu.

Tepelná vodivosť sa nevyužíva len v textilnom priemysle. Môžeme sa s ňou stretnúť aj v iných priemyselných odvetviach, ako napr. v strojárstve, stavebníctve. V týchto oblastiach sa uprednostňujú tzv. „izolanty“- látky, ktorých súčiniteľ tepelnej vodivosti je nižší. Najnižší súčiniteľ tepelnej vodivosti majú plyny. V dôsledku toho textílie s veľkým množstvom vzduchových medzier zle vedú teplo. Opakom izolantov sú pevné látky s vysokým súčiniteľom tepelnej vodivosti tzv. „vodiče“. Najlepšie vodiče sú kovy, ich tepelná vodivosť sa pohybuje od $300 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$.

Textílie sú pri experimentálnej zisťovanej tepelnej vodivosti ovplyvňované niekoľkými faktormi, ako sú vlhkosť vlákien, teplota, jemnosť vlákien, zaplnenie, objemová hmotnosť textílie a ďalšie [24].

Vplyv teploty na tepelnú vodivosť

Teplota t , charakterizuje tepelný stav predmetov. Základnou jednotkou je [K] a vedľajšou jednotkou [°C]. Pri meraní tepelnej vodivosti je možné vypožorovať rastúcu závislosť tepelnej vodivosti na zmene teploty. Pri náraste teploty dochádza k prechodu väčšieho množstva tepla textíliou, čo nakoniec vedie k zvýšenej tepelnej vodivosti. Môžeme teda skonštatovať, že súčiniteľ tepelnej vodivosti rastie so zvyšujúcou sa teplotou lineárne.

Vplyv vlhkosti na tepelnú vodivosť

Vlhkosť pôsobí z hľadiska izolačných vlastností nepriaznivo, pretože zvyšuje tepelnú vodivosť. V tomto prípade ide o relatívnu vlhkosť ϕ , ktorá je bezrozmerná [-] alebo sa môže vyjadrovať percentuálne [%]. Čo i len minimálne zväčšenie obsahu vlhkosti môže znamenať podstatné zvýšenie súčiniteľa tepelnej vodivosti. Túto skutočnosť môžeme

odôvodniť tým, že časť vzduchových pórov v textílií je zaplnená vodou, ktorá má oveľa väčšiu tepelnú vodivosť ako vzduch [25].

Vplyv jemnosti vlákien na tepelnú vodivosť

Jemnosť vlákien T [tex], vid'. kapitola 2.1.1. Najmenšiu tepelnú vodivosť majú materiály z veľmi jemných vlákien, pretože ich použitím sa zaistia minimálne medzivláčenné priestory, v ktorých by sa udržiaval vzduch.

Keďže je vzduch najlepší izolant, je preto súčiniteľ tepelnej vodivosti nízky. Naopak, ak sa použijú hrubé vlákna, izolačné vlastnosti materiálu sú ovplyvnené nepriaznivo. Priestory medzi vláknami sú dostatočne veľké, aby medzi nimi mohol prúdiť vzduch, čím sa zvyšuje súčiniteľ tepelnej vodivosti [26]. Z vyššie uvedeného textu môžeme skonštatovať, že jemnosť vlákien priamo ovplyvňuje súčiniteľ tepelnej vodivosti.

Vplyv zaplnenia a objemovej hmotnosti na tepelnú vodivosť

Zaplnenie μ [-], vid'. kapitola 2.1.3.

Objemová hmotnosť textílie m_v [kg.m⁻³], vid'. kapitola 2.3.6.

Každá textília zložená zo základného materiálu a medzivláčenných vzduchových priestorov má hodnoty tepelnej vodivosti pohybujúce sa v rozmedzí tepelnej vodivosti vzduchu a pevného materiálu. Táto hodnota je závislá od tvaru, počtu a veľkosti vzduchových pórov a tým od uloženia vlákien v priestore. Skrátka, je ľahko ovplyvniteľná technológiou spracovania a parametrami vlákien.

Použitie krátkych, jemných a skaderených vlákien vedie k veľkému počtu vzduchových komôrok, kde je vzduch ako keby uzatvorený, preto sa teplo šíri iba vedením a sálaním, hodnota tepelnej vodivosti je nízka. Ak sú vzduchové komôrky väčšie, teplo sa šíri hlavne prúdením, čím je väčšia tepelná vodivosť a tepelný tok. Zhrnutím môžeme povedať, že s rastúcou hodnotou zaplnenia a objemovou hmotnosťou rastie tepelná vodivosť, pretože obsahuje väčšie percento vlákien ako vzduchu [26].

4.1 Termofyziologický komfort

Termofyziologický komfort vyjadruje inými slovami tepelnú pohodu, ktorá je definovaná ako stav spokojnosti s teplotnými podmienkami životného prostredia.

Tepelná pohoda je zabezpečená najmä vnútornou teplotou ľudského tela, tá sa pohybuje okolo 37°C. Pre celý organizmus platí, že jeho vnútorná teplota zostáva konštantná, ak je množstvo tepla vyprodukované telom, ktoré je rovné teplu odovzdanému do okolitého prostredia. Telesná teplota nie je úplne stabilná, je rôzna na rôznych častiach tela, ale aj v týchto miestach kolíše v závislosti na fyziologickom stave tela a okolitých podmienkach.

Ako optimálne hodnoty pre mikroklimu znamenajúcu termofyziologický komfort, teda tepelnú pohodu sú dané:

- teplota pokožky 33 - 35 °C
- relatívna vlhkosť vzduchu $50 \pm 10\%$
- rýchlosť prúdenia vzduchu $25 \pm 10 \text{ cm.s}^{-1}$
- obsah CO₂ je 0,07%
- neprítomnosť vody na pokožke.

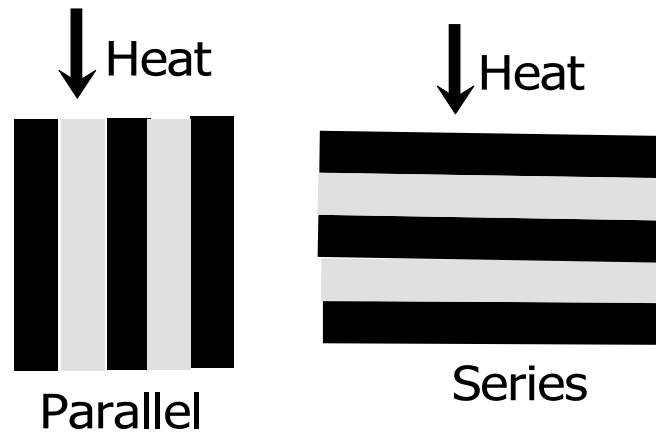
Ak je organizmus prekrvený normálne, nedochádza k poteniu a ani nenastáva pocit chladu. Je to proste stav, v ktorom človek vydrží pracovať neobmedzene dlho, stav fyziologickej, fyzikálnej a psychologickej harmónie medzi človekom a okolím. Je teda potrebné konštruovať odev tak, aby jeho schopnosť prenosu tepla, kvapalnej a plynnej vlhkosti no aj vzduchu, zaistovali pri nosení tieto optimálne hodnoty [27].

Jeden z prvých pokusov o zadanie tepelného komfortu bolo zavedenie špeciálnych jednotiek CLO a Tog zaoberajúcich sa tepelným odporom R [$\text{m}^2.\text{K.W}^{-1}$]. CLO a Tog sú miery tepelného odporu a zahŕňajú izoláciu vrstiev zachyteného vzduchu medzi pokožkou a odevom a izoláciu odevu samotného. Jeden Tog sa rovná 0,1 [$\text{m}^2.\text{K.W}^{-1}$] a CLO sa rovná 1,55 Tog. Jeden CLO zodpovedá vnútornej izolácii obleku, ktorý nosí muž pri odpočinku v sede v normálne vetranej miestnosti pri teplote 21°C, relatívnej vlhkosti vzduchu 50% a prúde vzduchu 0,1 m.s^{-1} . Za týchto podmienok sa muž cíti pohodlne. Pre zimné oblečenie je vhodné CLO okolo 0,8 a pre letné podmienky okolo 0,5. Všeobecne nižší tepelný odpor vedie k vyššiemu pocitu pohody [21].

4.2 Predikcia tepelnej vodivosti

Predikcia tepelnej vodivosti vláknitých štruktúr je dôležitá pre účely projektovania nových tkanín a predikcie ich schopnosti poskytovať tepelný komfort [19].

Na vyjadrenie tepelnej vodivosti materiálu sa použil podľa Militkého [21] dvojfázový model zložený z vlákien s tepelnou vodivosťou λ_Y a vzduchu s tepelnou vodivosťou λ_a v sériovom (dolná hranica) alebo paralelnom (horná hranica) usporiadaní, ako je uvedené na obr. 20. Relatívny podiel vzduchovej fázy je rovný pórovitosti P_d a relatívnej časti z vláknaitej fázy $1-P_d$.



Obrázok 20 Limitné usporiadanie nití (čierna) a vzduchu (biela) v modeli vodivosti [21]

Tepelná vodivosť pre paralelne usporiadanie λ_P (horný limit) je rovná

$$\lambda_P = P_D \lambda_a + (1 - P_D) \lambda_Y \quad (46)$$

Pre sériové usporiadanie je tepelná vodivosť λ_S (dolný limit) definovaná ako

$$\lambda_S = \frac{\lambda_a \lambda_Y}{P_D \lambda_Y + (1 - P_D) \lambda_a} \quad (47)$$

Aktuálne zloženie vlákien a vzduchovej fázy môže byť prezentované lineárnou kombináciou paralelnej a sériovej štruktúry zloženej z ich zložiek tepelnej vodivosti. Kompromisom je výpočet priemernej tepelnej vodivosti λ_{PS} , ako aritmetický priemer medzi hornou a dolnou hranicou.

$$\lambda_{PS} = \frac{\lambda_P + \lambda_S}{2} \quad (48)$$

To nemusí poskytnúť presnú predpoveď tepelnej vodivosti tkanín kvôli špecifickej orientácii vlákna v priadzi, rovnako ako distribúcií, tvaru a veľkosti pórov. Avšak paralelná/ sériová štruktúra dáva prognózu a poskytuje primeranú predikčnú presnosť pre praktické použitie vďaka svojej jednoduchosti.

4.3 Metódy hodnotenia tepelnej vodivosti materiálov

Existuje množstvo metód a aj potrebných zariadení, ktoré slúžia k hodnoteniu tepelnej vodivosti. Väčšina týchto prístrojov premeriava okrem tepelnej vodivosti aj iné tepelnoizolačné vlastnosti textilných materiálov, ako napr. tepelný odpor, teplotná vodivosť, tepelná „jímavosť“. Prístroje simulujú podmienky pôsobenia tepla v systéme organizmus - odev - prostredie a merania robia za podmienok blízkych režimu ľudského tela. Tepelnú vodivosť je možné merať stacionárnymi a nestacionárnymi metódami. Nižšie sú stručné charakteristiky použitých prístrojov, ktoré slúžia k meraniu vlastnosti termofyziologického komfortu, v tomto prípade predovšetkým k meraniu tepelnej vodivosti.

4.3.1 Alambeta

Interná norma č. 23-304-02/01: *Měření tepelných vlastností na přístroji Alambeta* [28]

Alambeta je prístroj vyvinutý na meranie termofyzikálnych parametrov textílií, a to ako stacionárnych tepelnoizolačných vlastností (tepelný odpor, tepelná vodivosť), tak aj v dynamickom stave (tepelná „jímavosť“, tepelný tok). Meranie tepelných vlastností na tomto prístroji pozostáva v prechode tepelných tokov $q_1(t)$ a $q_2(t)$ povrchmi vzorky od neustáleného stavu k ustálenému (t_1 - teplota meracej hlavice, t_2 - teplota vzorky, základne prístroja). Horná čeľusť prístroja je vyhrievaná na 35°C, to zodpovedá konštantnej teplote ľudskej pokožky. Prítlak meracej hlavice je meniteľný v rozsahu 100 - 1000 Pa. Ide o poloautomatický, počítačom riadený prístroj, ktorý je schopný odmerať, vyhodnotiť štatistické hodnoty nameraných dát a vďaka autodiagnostickému programu zabráňuje chybným operáciám prístroja [27].

Prístroj je schopný merať nasledujúce parametre:

Hrúbka materiálu h [mm];

Merná tepelná vodivosť λ [W.m⁻¹.K⁻¹]

Súčiniteľ mernej tepelnej vodivosti λ predstavuje množstvo tepla, ktoré pretečie jednotkou dĺžky za jednotku času a vytvorí rozdiel teplôt 1 K. S rastúcou teplotou teplotná vodivosť klesá; hodnota udávaná prístrojom ALAMBETA sa musí deliť 10³. Materiály, ktoré majú vysokú hodnotu λ sa označujú ako vodiče, materiály s nízkou

hodnotou λ ako izolátory. Najmenšiu tepelnú vodivosť majú materiály z veľmi jemných vlákien. Priemer vlákien a hrúbka tepelnú vodivosť zvyšujú.

Plošný odpor vedenia tepla r [$\text{W}^{-1}\text{K}\cdot\text{m}^2$]

Plošný odpor vedenia tepla r je daný pomerom hrúbky materiálu a mernej tepelnej vodivosti. Udáva, aký odpor kladie materiál proti prechodu tepla textíliou. Čím nižšia je tepelná vodivosť, tým vyšší je tepelný odpor, výslednú hodnotu je potrebné deliť 10^3 . Z vyššie uvedeného vyplýva, že nízka tepelná vodivosť a vysoký tepelný odpor charakterizujú kvalitnú tepelnú izoláciu.

$$r = \frac{h}{\lambda} \quad (49)$$

Tepelný tok q [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]

Tepelný tok je množstvo tepla šíriaci sa z ruky (hlavice prístroja) o teplote t_2 do textílie o počiatkovej teplote t_1 za jednotku času. Pre krátku dobu kontaktu približne platí:

$$q = b \frac{t_2 - t_1}{\sqrt{\pi \cdot \tau}} \quad (50)$$

Merná teplotná vodivosť a [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$]

Merná teplotná vodivosť vyjadruje schopnosť látky vyrovnávať teplotu. Čím je hodnota vyššia, tým sa látka rýchlejšie vyrovnáva teplote (pri nestacionárnom procese), hodnota na displeji prístroja sa delí 10^6 .

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad (51)$$

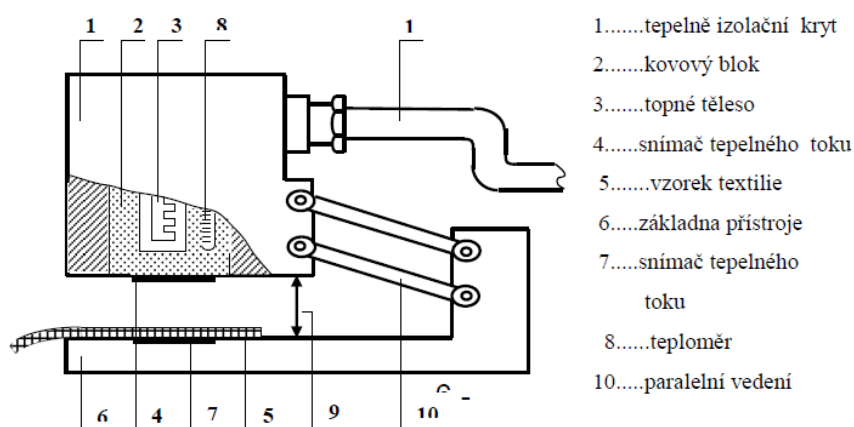
Tepelná „jímavosť“ b [$\text{Wm}^{-2}\text{s}^{1/2}\text{K}^{-1}$]

Jediný parameter, ktorý charakterizuje tepelný ohmat a predstavuje množstvo tepla za jednotku času, ktoré pretečie pri rozdiely teplôt 1K jednotkou plochy v dôsledku akumulácie tepla v jednotkovom objeme. Ako chladnejšie pociťujeme hmatom materiály, ktoré majú väčšiu absorpčnú schopnosť a väčšie b .

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \quad (52)$$

Popis prístroja Alambeta:

Zjednodušená schéma prístroja je uvedená na obr. č. 21. Na základňu prístroja 6 (spodná časť), ktorá je vyhrievaná na teplotu okolia, sa položí meraná vzorka 5. Hlavica 1, ktorá je vyhrievaná na teplotu o cca 10°C vyššiu, než je teplota okolia, sa spustí a snímače tepelného toku 4, 7 merajú tepelné toky medzi jednotlivými povrchmi. Súčasne je zmeraná aj hrúbka materiálu h , ako vzdialenosť meracích hláv. Súčasťou základne prístroja je termostat a teplomer. Meracia hlavica obsahuje teplomer 8, topné teleso 3, termostat 2 a tepelnú izoláciu.



Obrázok 21 Schéma meracieho prístroja ALAMBETA [28]

4.3.2 Analyzátor tepelnej vodivosti Model C-Therm TCI

Výrobok firmy C-THERM TECHNOLOGIES Ltd., Canada umožňuje úplne nový stupeň testovania tepelno-fyzikálnych vlastností plošných textílií. Ide o moderné zariadenie, ktoré je navrhnuté tak, aby jednoduchou, vysoko presnou charakteristikou priamo zmeralo tepelnú vodivosť a tepelnú „jímavosť“ textílií. Nepriamo je možné merať teplotnú vodivosť, mernú tepelnú kapacitu, hĺbku prieniku tepla a tepelný odpor.

Výhodou tejto metódy je nedeštruktivita, okamžité zobrazenie výsledkov bez nutnosti zložitej kalibrácie. Rozmery skúšobnej vzorky môžu byť veľmi malé, keďže čidlo prístroja má skoro veľkosť mince. Neexistuje teda žiadne obmedzenie ohľadom veľkosti vzoriek. Skúšobná doba je obvykle len pár sekúnd a celé meranie je založené na automatizovanom testovaní. Výsledky meraní sú zobrazené v reálnom čase na obrazovke počítača, kde následne môžu byť ďalej spracované.

Tento prístroj pre meranie súčiniteľa zdieľaného tepla vedením poskytuje tepelnú analýzu nielen textíliám, ale taktiež pevným látkam, kvapalinám, prášku, pastám, vláknitým materiálom. Systém testuje materiály s tepelnou vodivosťou od 0 do $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ behom 5 sekúnd. S použitím teplotnej komory umožňuje meranie v teplotnom rozmedzí od -75°C do $+200^\circ\text{C}$.



Obrázok 22 Analyzátor tepelnej vodivosti C-Therm TCi [29]

Prístroj používa jednostranný medzikontaktný teplotne odrazový snímač, ktorý sa skladá z meracieho čidla, riadiacej elektroniky a počítačového softwaru. V snímači sa vyskytuje topné teleso, ktoré tvorí čidlo v tvare špirály obopnuté ochranným krúžkom. Presne definovaný prúd je uplatnený na čidle topného telesa, ktoré potom vytvára malé množstvo tepla. Vzniknuté teplo prúdi počas testu smerom od senzoru do materiálu. Záverom je nárast teploty na rozhraní medzi senzorom a vzorkou, zvyčajne je to menej ako 2°C . Nárast teploty na rozhraní snímača vyvolá zmenu, a to úbytok napätia na čidle. Tempo akým rastie napätie v snímači sa využíva k určeniu tepelno-fyzikálnych charakteristík materiálov vzoriek. Termo-fyzikálne vlastnosti vzoriek sú nepriamo úmerné rýchlosti rastu napätia na snímači, z čoho vyplýva, že čím väčšia je tepelne izolačná schopnosť materiálu, tým strmejší je nárast napätia [29].

5. Priedušnosť

Priedušnosť textilných materiálov, je schopnosť textílie prepúšťať vzduch za stanovených podmienok, udáva sa v $[m.s^{-1}]$. Podľa normy ČSN EN ISO 9237 [30] je priedušnosť definovaná, ako rýchlosť prúdu vzduchu prechádzajúceho kolmo na skúšobnú vzorku pri špecifikovaných podmienkach pre skúšobnú plochu, tlakový spád a dobu.

Hoci princíp priedušnosti je pomerne jednoduchý, je veľmi ťažké priepustnosť vzduchu definovať pomocou konkrétneho vzťahu, pretože jej hodnoty sú výsledkom množstva faktorov. Z tohto dôvodu sa hodnoty priedušnosti väčšinou určujú empiricky pomocou prístroja.

Prístroje určené na meranie priedušnosti pracujú na princípe tlakového spádu medzi rubom a lícom plošnej textílie. To znamená, že textília je podrobená pôsobeniu rozdielneho tlaku z oboch strán. Počas zisťovania priedušnosti sa zaznamenáva rýchlosť prúdiaceho vzduchu cez textíliu za daného tlakového spádu.

Priedušnosť je jedným z najvýznamnejších parametrov úžitkových vlastností plošných textílií. Pre priedušnosť textilných materiálov je určujúca ich štruktúra. Pri tkaninách je určená najmä priemerom osnovných a útkových nití, hustotou dostavy, taktiež zvolenou väzbou, druhom konečnej úpravy. Dôležitou charakteristikou plošnej textílie z ohľadu hodnotenia priedušnosti je veľkosť pórov, ich tvar, počet a celkové usporiadanie jednotlivých typov pórov. Priedušnosť je závislá na počte použitých vrstiev materiálu a samozrejme na vlhkosti. Z toho môžeme usúdiť, že plošné textílie vyrobené z bavlnených vlákien majú s nárastom vlhkosti priedušnosť nižšiu, pretože sa póry zaplnia vodou, vlákna sa nabobtnajú a zabraňujú prechodu vzduchu.

Čo sa týka hotového odevu, aj tu existuje množstvo faktorov, ktoré ovplyvňujú priedušnosť. Nezanedbateľnú úlohu hrajú strih odevu a celkový počet vrstiev. Čím viac vrstiev, tým nižšia je priedušnosť. Do úvahy je potrebné zobrať i externé faktory, ako sú rýchlosť vetra, teploty vonkajšieho vzduchu a vzduchu v priestore pod odevom (mikroklíma). Priedušnosť nadobúda pri veľkom rozdiely teplôt alebo veľkej rýchlosti vetru vyšších hodnôt.

5.1 Meranie priedušnosti

Prístroj FX 3300 Air Permeability Tester III

Odpovedajúca norma: ČSN EN ISO 9237 (80 0817): *Zjišťování prodyšnosti plošných textilií* [30].

Meranie priedušnosti je možné vykonať na prístroji FX 3300 (obr.23) od švajčiarskej firmy *TexTest AG*. Prístroj hodnotí priedušnosť automaticky a digitálne na základe vytvorenia tlakového rozdielu vybraného materiálu [27]. Dáva možnosť merať rôzne druhy textilných materiálov, od tkanín s hustou dostavou až po riedke netkané textílie. Princípom merania je nasávanie vzduchu cez meraciu hlavicu, ku ktorej je prichytená vzorka, do vnútra prístroja. Skúmaný materiál sa ukladá na dosku stroja, v ktorej je otvor o veľkosti plochy 20 cm^2 a následne sa upevní prítlačným zariadením. Rozdiel tlaku pred vzorkou a za vzorkou je snímaný senzormi a udržiavaný na požadovanej, dopredu zvolenej hodnote. Počítačový software zobrazí výsledky na displeji v m.s^{-1} , prípadne ich prevedie alebo porovná s normami, ktoré sú nainštalované v prístroji. Výrobcom uvedený merací rozsah prístroja je 98 – 2500 Pa. Obsluha tohto prístroja je jednoduchá a pomerne rýchla. Výhodou merania je, že prístroj vzorky neničí a nie je potrebné prispôsobovať vzorku veľkosťou alebo tvarom. Prístroj sa dodáva spolu s referenčným materiálom, to je kovová doštička s definovanými otvormi, slúžiacim ku kontrole presnosti meraní [31].



Obrázok 23 Prístroj FX 3300 Air Permeability Tester III

6 Experimentálna časť

Cieľom tejto práce je preskúmať vplyv zmesového podielu bavlnenej a polypropylénovej priadze na pórovitosť a tepelnú vodivosť tkaniny pri rôznej dostave.



6.1 Popis hodnotených tkanín

Na prevedenie experimentu boli určené tkaniny plátnovej väzby zo zmesi bavlny a polypropylénu, ktoré mali rovnakú priadzu v osnove a aj v útku. Priadza bola vyrábaná mykanou technológiou na prstencovom dopriadacom stroji s konečnou jemnosťou 20 tex a v následnom percentuálnom zložení: 100 % CO, 65 % CO/ 35 % POP, 50 % CO/ 50 % POP, 65 % POP/ 35 % CO. Každá tkanina z uvedených, sa ďalej delí podľa rôznych dostav útku, konkrétne 104 nt/10cm, 156 nt/10cm, 208 nt/10cm, 220 nt/10cm, 260 nt/10cm, 280 nt/10cm. Tkaniny sú od dodávateľa SPOLSIN, s.r.o., Česká Třebová zhotovené ako experimentálne tkaniny, určené na výskum. Všetky tkaniny sú v režnom, tzv. neupravenom stave. Súhrnne je použitých 19 tkanín v plátnovej väzbe. Bližšie parametre tkanín sú uvedené v tabuľkách nižšie.

Tabuľka 1 Parametre použitých tkanín

Jemnosť 20 tex	Tkanina	Dostava útku [pn/10cm]	Dostava osnovy [pn/10cm]	Hustota vláken ρ [kg.m ⁻³]
	100% CO	104	250	1520
		156	250	1520
		208	250	1520
		260	250	1520
		280	250	1520
	65%CO/35%POPs	104	250	1231,15
		156	250	1231,15
		208	250	1231,15
		260	250	1231,15
		280	250	1231,15
	50%CO/50%POPs	104	250	1138,44
		156	250	1138,44
		208	250	1138,44
		260	250	1138,44
		280	250	1138,44
	35%CO/65%POPs	104	250	1058,71
		156	250	1058,71
		208	250	1058,71
		220	250	1058,71

Tabuľka 2 Plátnová väzba

Názov	Väzba	Popis	Rozloženie pórov	Počet pórov
Plátno	 $P \frac{1}{1}$	základná väzba, strieda väzby 2x2 nite		$\sum p_{n1} = 4$

6.2 Meranie dostavy osnovy a útku

Meranie bolo uskutočnené v súlade s normou ČSN EN 1049-2 (80 0814) [32].

Dostava tkaniny je zadefinovaná v kapitole 2.3.1.

Dostava osnovy aj útku bola premeraná u každej tkaniny pomocou tkáčskej lupy a ihly 10 krát. Hodnoty dostav osnovy a útku, ktoré boli počítané na veľkosti 20 mm a následne prepočítané na 100 mm sú uvedené v tabuľke 3. Viac vid'. príloha 1.

Tabuľka 3 Experimentálne zistené hodnoty dostáv tkaniny [pn/10cm]

Du,Do [pn/10cm] tkanina	Du104 Do250		Du156 Do250		Du208 Do250		Du220 Do250		Du260 Do250		Du280 Do250	
100% CO	109,0	257,0	165,6	259,6	224,8	269,2	-	-	275,0	271,8	292,4	270,4
65%CO/35%POP	110,4	261,8	167,2	268,0	225,0	275,6	-	-	279,0	276,0	298,0	273,8
50%CO/50%POP	111,4	260,8	167,4	272,0	231,2	262,8	-	-	279,6	277,8	298,8	284,0
35%CO/65%POP	110,6	263,8	168,0	273,2	234,8	272,2	248,8	274,6	-	-	-	-

Diskusia: Z tabuľky môžeme vyčítať, že namerané hodnoty dostavy útku a osnovy sa líšia od hodnôt udaných výrobcom. Vo všetkých prípadoch sú väčšie ako hodnoty dostav, ktoré sú dané výrobcom.

6.3 Meranie hrúbky tkaniny

Meranie bolo uskutočnené v súlade s normou ČSN EN ISO 5084 (80 0844) *Textilie – Zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků* [16], v ktorej sú uvedené podrobnejšie podmienky merania.

Hrúbka tkaniny je definovaná v kapitole 2.3.6.

Postup merania: Vzorky veľkosti 100 x 100 mm sa vystrihnú diagonálne z celej plochy tkaniny, najmenej 100 mm od hrubého okraja tkaniny. Prítlačný kotúč sa zdvihne a na

základnú dosku sa umiestni vzorka tak, aby ležala pod jeho stredom. Prítlačný kotúč sa môže spustiť na vzorku. Po zaťažení sa na displeji zobrazí hrúbka textílie s presnosťou na 0,01 mm. Hrúbka tkaniny je obvykle meraná pri zvolenom prítlačku 1 kPa.

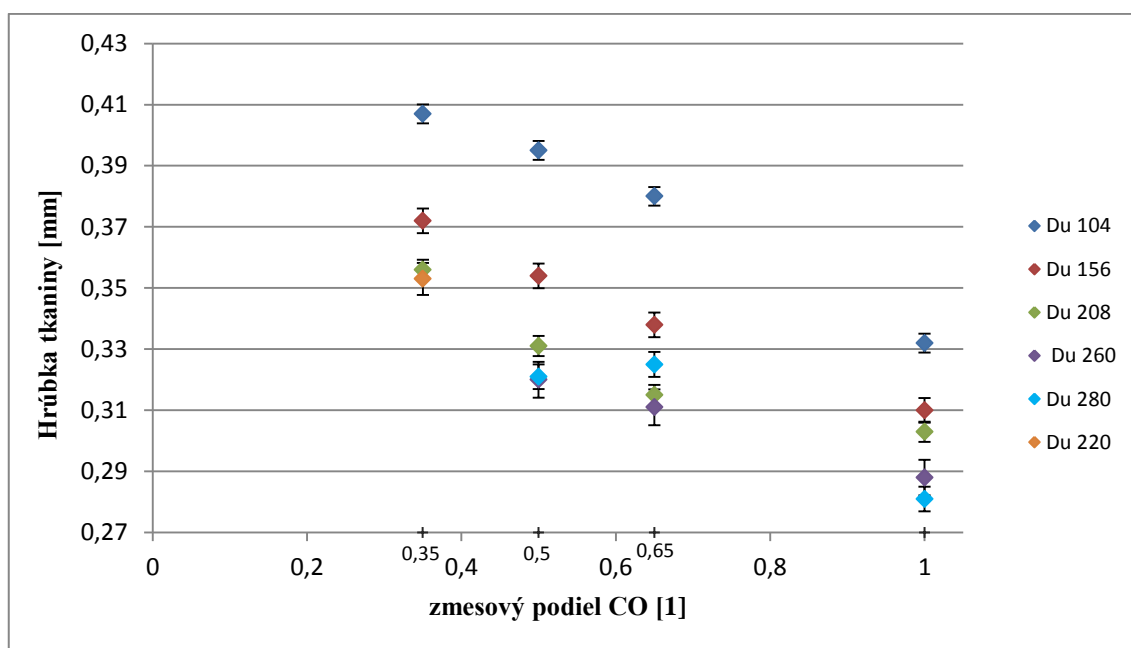
Podmienky merania: prítlak 1 kPa; plocha prítlačnej dosky 10 cm²

Použitý prístroj: Tloušťkoměr FF – 27

Namerané hodnoty sú uvedené v tab. 4 a grafické znázornenie výsledkov merania je na obr. 24. Viac vid'. príloha 2.

Tabuľka 4 Experimentálne zistené hodnoty hrúbky tkaniny [mm] pri prítlačku 1kPa

Du [pn/10cm]	104	156	208	220	260	280
tkanina						
100% CO	0,332	0,310	0,303	-	0,288	0,281
65%CO/35%POP	0,380	0,338	0,315	-	0,311	0,325
50%CO/50%POP	0,395	0,354	0,331	-	0,320	0,3221
35%CO/65%POP	0,407	0,372	0,356	0,353	-	-



Obrázok 24 Vplyv zmesového podielu a rôznej dostavy útku na hrúbku tkaniny [mm]

Diskusia: Na obr. 24 je viditeľné, že pri plátnovej väzbe sa so zvyšujúcou dostavou útku hrúbka tkaniny znižuje. Čím viac sú nite previazané, tým viac sa deformujú a dochádza k ich splošteniu. Z obrázku môžeme taktiež vyčítať, že najvyššiu hodnotu hrúbky majú všetky tkaniny s dostavou útku 104 nt/10cm. Najmenšiu hrúbku, čiže najtenšie, sú tkaniny vyrobené zo 100% bavlny, čo je spôsobené najmenším priemerom

bavlnenej nite. Čím väčšie percentuálne zastúpenie má v tkanine polypropylén, tým je vyššia hodnota hrúbky tkaniny, v dôsledku vyššieho priemeru priadze.

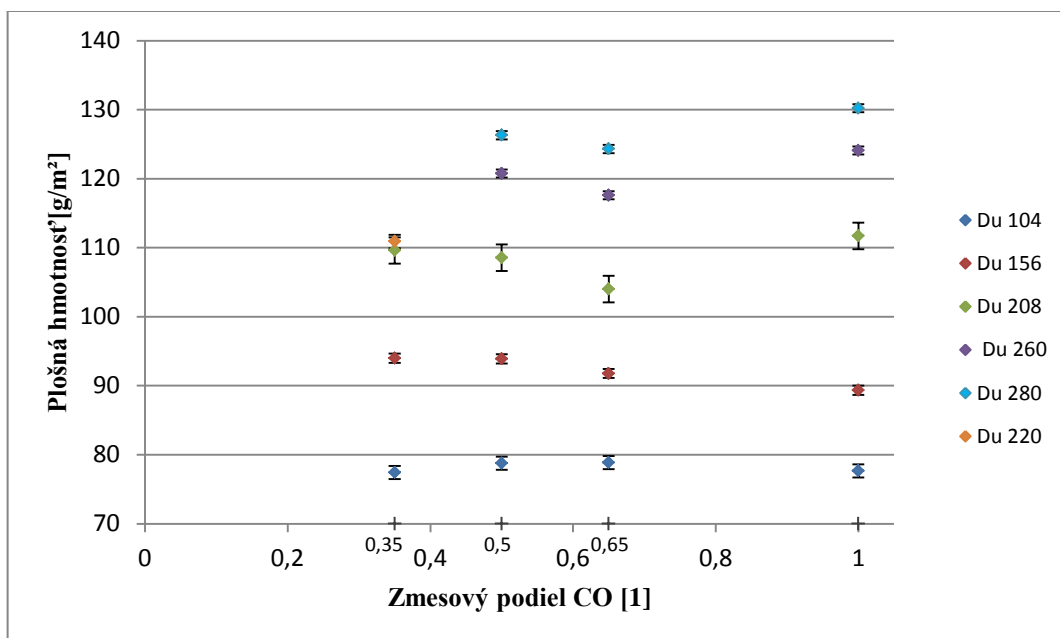
6.4 Merania plošnej hmotnosti

Plošná hmotnosť je zadefinovaná v kapitole 2.3.7.

Z plošnej textílie sa odstrihnú presne po niti vzorky s rozmerom 100 x 100 mm. Tie sa následne zvažia na analytických váhach, ktoré pracujú s rozlíšením 0,001g. Namerané hodnoty plošnej hmotnosti tkaniny sú v súlade s normou ČSN EN 12127 [33] a sú uvedené v tabuľke 5. Viac príloha 3.

Tabuľka 5 Experimentálne zistené hodnoty plošnej hmotnosti tkaniny [g/m²]

Du [pn/10cm] tkanina	104	156	208	220	260	280
100% CO	77,66	89,33	111,70	-	124,10	130,20
65%CO/35%POP	78,80	91,70	104,00	-	117,60	124,30
50%CO/50%POP	78,70	93,80	108,55	-	120,75	126,30
35%CO/65%POP	77,40	94,00	109,60	110,90	-	-



Obrázok 25 Vplyv zmesového pomeru a rôznej dostavy útku na plošnú hmotnosť tkaniny [g/m²]

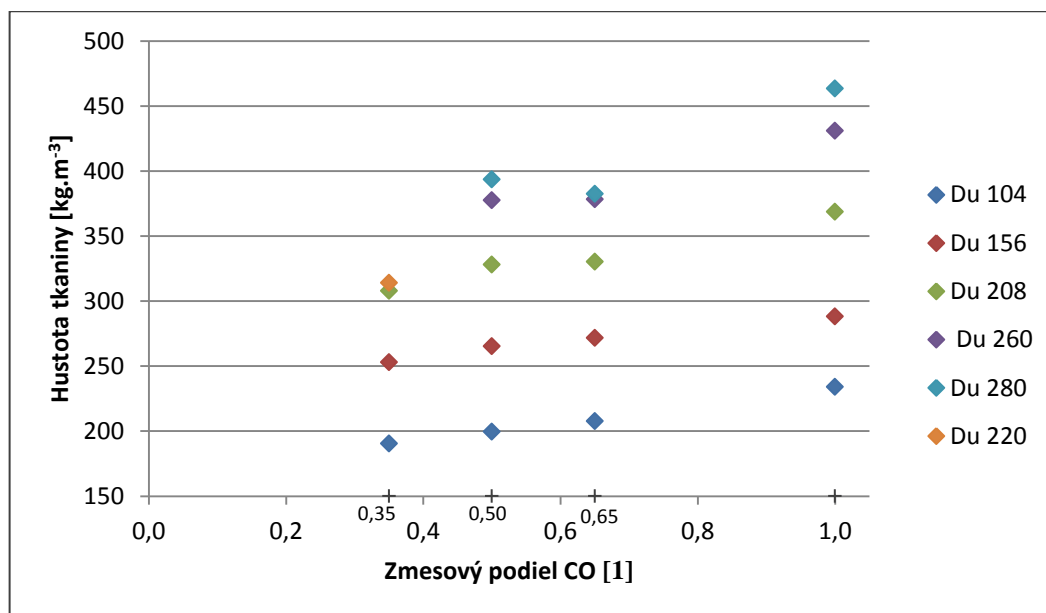
Diskusia: Z obr. 25 je viditeľné, že plošná hmotnosť tkaniny sa zväčšuje so zvyšujúcim sa počtom nití na m^2 . Najťažšie sú tkaniny s dostavou útku 280 nt/10 cm, pretože majú najviac nití na skúšobnú plochu. Pri všetkých skúšaných tkaninách platí, že čím je vyššia dostava útku, tým je vyššie zotkanie a tým sa zvyšuje aj plošná hmotnosť. Vplyv zmesového pomeru sa zreteľne nepreukázal.

6.5 Hustota tkaniny

Hustota tkaniny sa vypočítala, podľa vzťahu (28) ako podiel experimentálne zistených hodnôt plošnej hmotnosti a hrúbky tkaniny. Vypočítané hodnoty sú uvedené v tab. 6 a grafické znázornenie je na obr. 26.

Tabuľka 6 Výpočet hustoty tkaniny [$kg \cdot m^{-3}$]

Du [pn/10cm] tkanina	104	156	208	220	260	280
100% CO	233,9	288,2	368,6	-	430,9	463,3
65%CO/35%POP	207,6	271,5	330,2	-	378,1	382,5
50%CO/50%POP	199,4	265,2	327,9	-	377,3	393,5
35%CO/65%POP	190,3	252,9	307,9	313,9	-	-



Obrázok 26 Vplyv zmesového podielu na hustote tkaniny [$kg \cdot m^{-3}$]

Diskusia: Z obrázku vyplýva, že najvyššia hustota tkaniny je pri tkaninách zo 100 % CO, v tomto prípade je najhustejšia tkanina s dostavou útku 280 nt/10 cm. Teda s rastom dostavy, rastie hustota tkaniny. Môžeme takisto konštatovať, že tkaniny s rôznym zmesovým podielom pri rovnakých dostavách útku, si zachovávajú rovnaký trend a so zvyšujúcim hmotnostným podielom polypropylénu sa znižuje hustota tkaniny.

6.6 Meranie pórovitosti tkaniny

Pórovitosť resp. zakrytie tkanín bolo namerané s použitím obrazovej analýzy podľa internej normy IN 23-107-01/01 *Porosita a plošné zakrytí tkanin* [34].

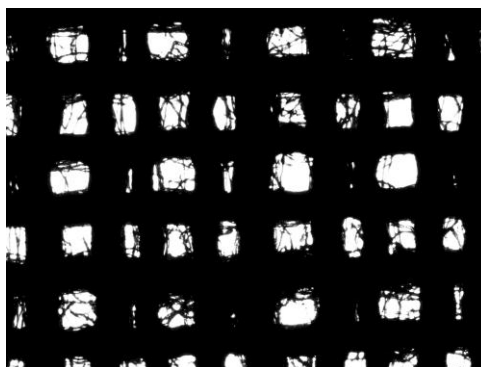
Postup merania: Pomocou obrazovej analýzy boli nasnímané farebné obrazy vzoriek tkanín. Ako prvé je nutné zvoliť vhodné zväčšenie a rozlíšenie obrazu, taktiež stanoviť čo najvyhovujúcejšiu kalibráciu obrazu. Vykonať základné nastavenie optických členov mikroskopu a zrealizovať nastavenie kamery prostredníctvom obrazovej analýzy. Najskôr sa zosnímal obraz a preniesol sa na obrazovku počítača. Bolo potrebné zaostriť na okraj priadze a nastaviť kontrast tak, aby nedochádzalo k presvetleniu preparátu. Nasledovalo zosnímanie obrazových sekvencií. Každá použitá vzorka o rozmere 100 x 100 mm bola nasnímaná 300 krát. Dôležité je odstránenie neostrých alebo nevhodne odobraných pohľadov. Po premeraní každej tkaniny sú dáta exportované do súboru a uložené.

Spracovaním pohľadu na tkaniny je možné pomocou obrazovej analýzy Nis Elements získať informácie o ploche zakrytej pórmí - „Area“ a ploche celkovej - „MeasuredArea“. Farebný obraz tkaniny je nevyhnutné ešte pred meraním plôch najskôr previesť na šedotónový obraz a tak transformovať, s použitím objektívne stanoveného prahu, do binárneho tvaru pomocou položky „Prahování“. Okrem toho je potrebné previesť vyradenie odstávajúcich vlákien pomocou morfológických operácií „Vyčištění“, „Dilatace“ a „Zaplnění děr“.

Podmienky merania: rozlíšenie obrázku 2048×1536 pri veľkosti pixelu 1,59×1,59 μm²

Použitý prístroj: Nis-Elements - obrazová analýza

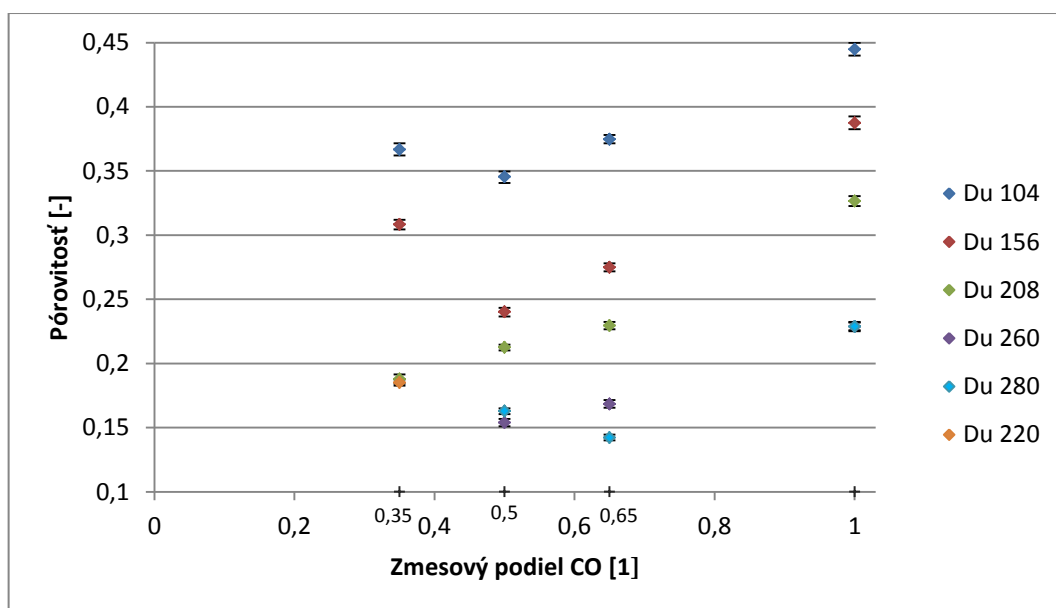
Namerané hodnoty sú uvedené v tab. 7 a grafické znázornenie výsledkov merania je na obr. 28. Viac vid'. príloha 4.



Obrázok 27 Pohľad na binárny obraz tkaniny získaný prahom $T=25$
65%CO/35%POP, Du 208 nt/10cm

Tabuľka 7 Experimentálne zistené hodnoty pórovitosti tkaniny [-]

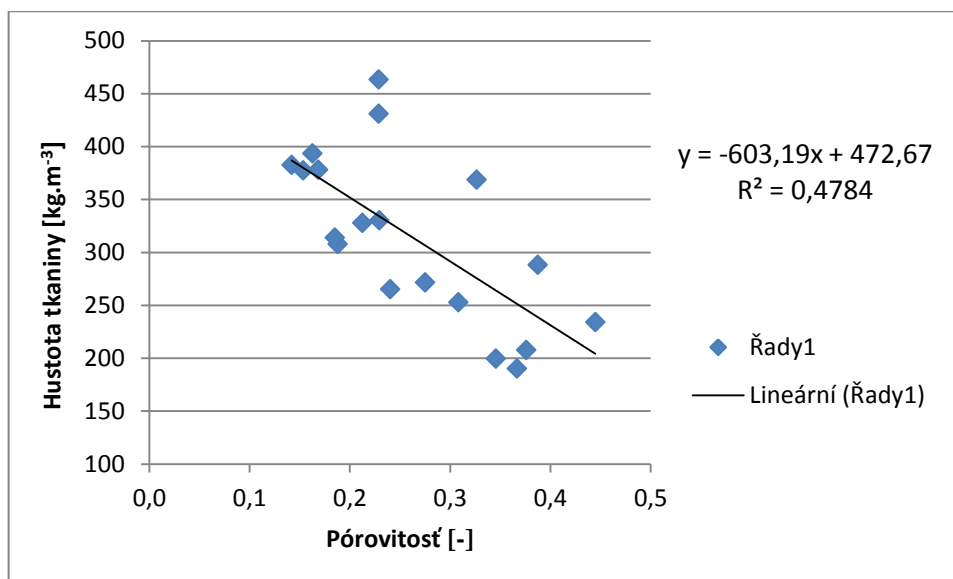
Du [pn/10cm]						
tkanina	104	156	208	220	260	280
100% CO	0,449	0,387	0,327	-	0,229	0,229
65%CO/35%POP	0,376	0,275	0,229	-	0,168	0,142
50%CO/50%POP	0,346	0,240	0,212	-	0,154	0,163
35%CO/65%POP	0,367	0,308	0,188	0,185	-	-



Obrázok 28 Vplyv zmesového podielu na experimentálne zistenú pórovitosť tkaniny [-]

Diskusia: Plošná pórovitosť tkaniny je funkciou priemeru a dostavy osnovných a útkových nití. Preto sa pri plátnovej väzbe pórovitosť znižuje so zvyšujúcou sa dostavou útku. Tkaniny, ktoré sú vyhotovené zo zmesi bavlna / polypropylén dosahujú nižšie hodnoty plošného zakrytia pórov, ako tkaniny zo 100% CO, vid'. obrázok 28,

pretože priemer zmesovej priadze je väčší ako priemer bavlnenej priadze. Teda môžeme povedať, že s rastúcim podielom bavlny, klesá priemer bavlny a pórovitosť sa zvyšuje.



Obrázok 29 Vzťah medzi pórovitosťou [-] a hustotou tkaniny [kg.m⁻³]

Diskusia: Tento graf vypovedá o vzťahu medzi experimentálne nameranými hodnotami pórovitosti a hustotou tkaniny. Koefficient korelácie je 0,69.

6.7 Priedušnosť tkaniny

Meranie bolo uskutočnené v súlade s normou ČSN EN ISO 9237: *Zjišťování prodyšnosti plošných textilií* [30].

Priedušnosť je definovaná v kapitole 5.

Postup merania: Skúška bola vykonaná na klimatizovaných vzorkách rozložených diagonálne, najmenej 10 cm od hrubého okraja tkaniny. Vzorka musí mať väčšiu veľkosť ako je upínacia plocha prístroje. Dôležité je vybrať požadovaný tlakový spád a jednotky, v ktorých chceme mať priedušnosť zobrazenú. Skúšobná vzorka sa umiestni medzi čeľuste a následne sa zapne ventilátor. Tkaninou umiestnenou na otvore sa pomocou sacej hlavice začne nasávať vzduch. Po určitej dobe sa ustáli hodnota priedušnosti a odpočíta sa z displeja prístroja.

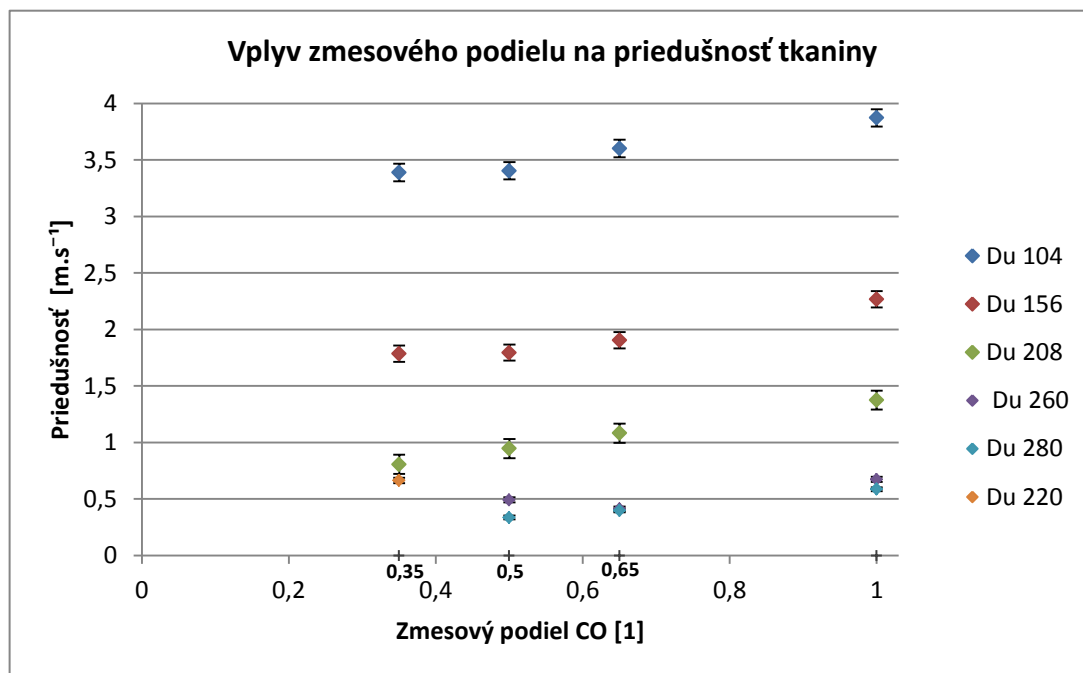
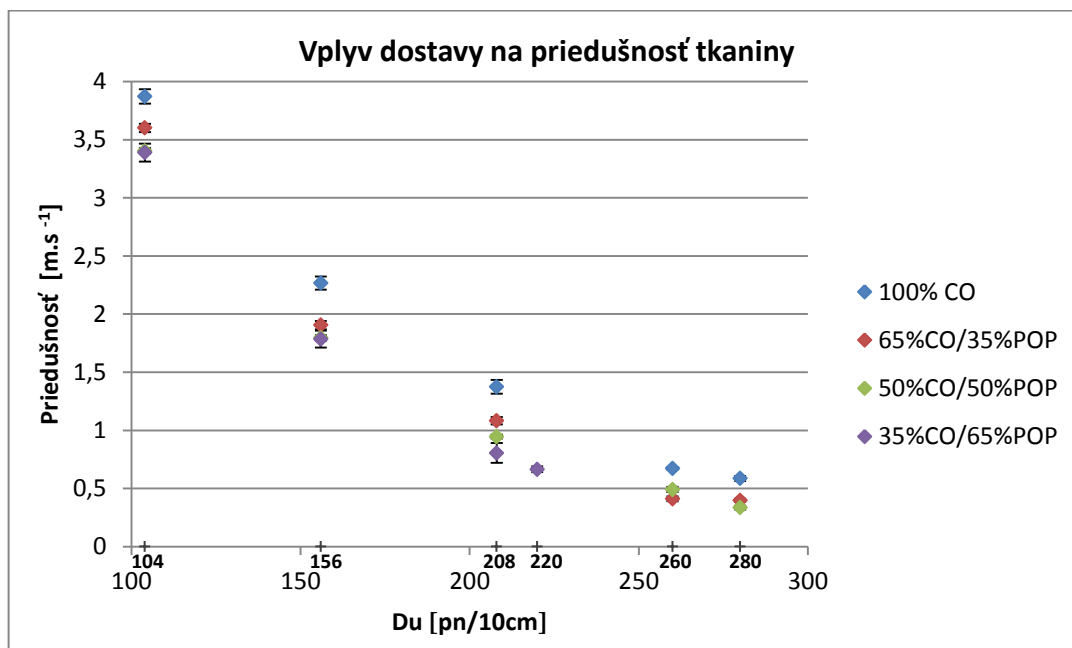
Podmienky merania: tlakový rozdiel 100 Pa, stupnica nasávania vzduchu 5-7, skúšobná plocha 20 cm²

Použitý prístroj: FX 3300 Air Permeability Tester III od firmy TexTest

Namerané hodnoty priedušnosti sa nachádzajú v tabuľke 8. Viac vid'. príloha 5.

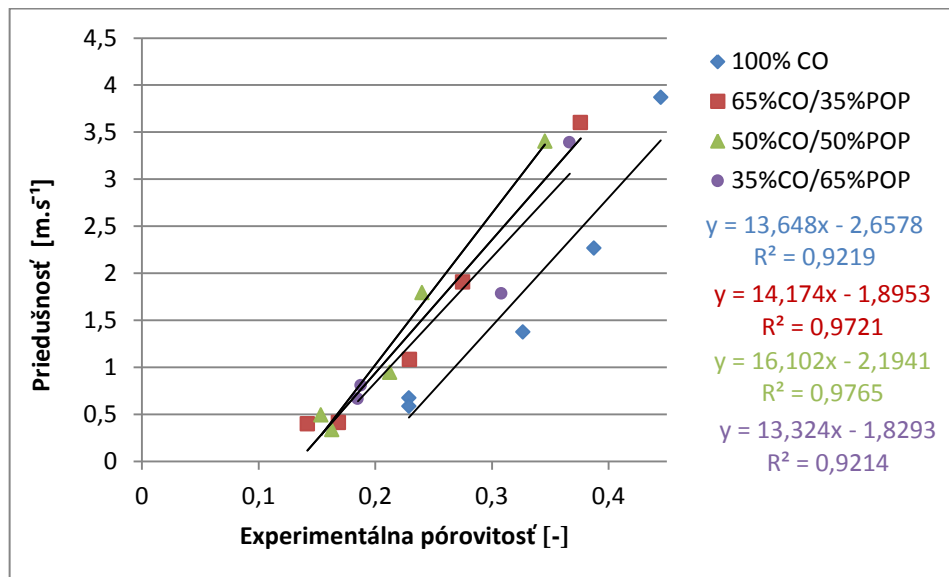
Tabuľka 8 Experimentálne zistené hodnoty priedušnosti tkaniny [m/s]

Du [pn/10cm] tkanina	104	156	208	220	260	280
100% CO	3,872	2,267	1,375	-	0,673	0,587
65%CO/35%POP	3,601	1,905	1,083	-	0,412	0,399
50%CO/50%POP	3,404	1,795	0,946	-	0,492	0,337
35%CO/65%POP	3,389	1,785	0,806	0,665	-	-



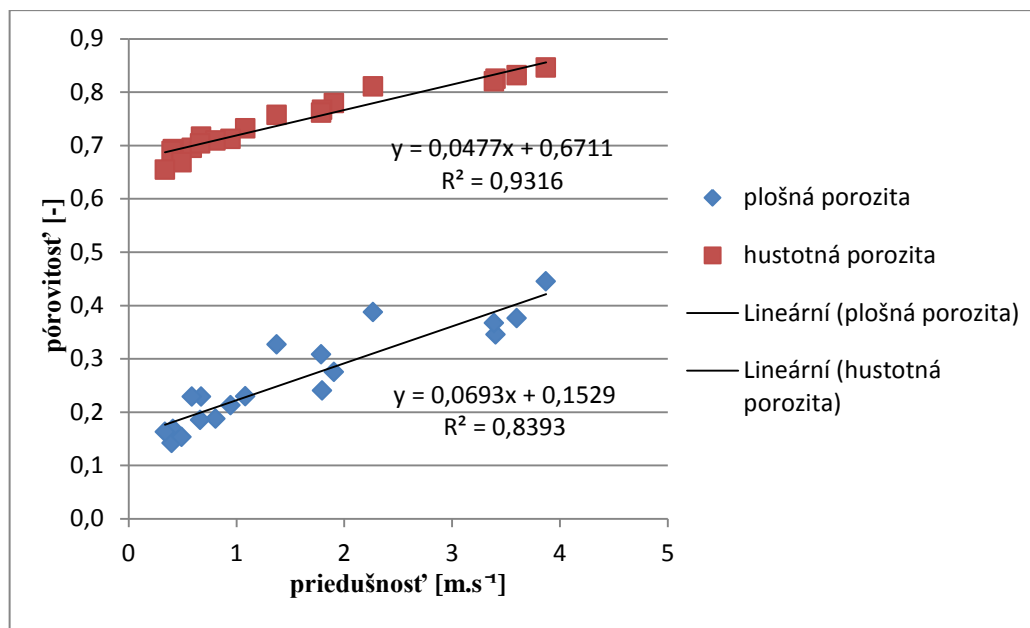
Obrázok 30 Vplyv dostavy a zmesového podielu priadze na priedušnosť tkaniny [m/s]

Diskusia: Na priedušnosť tkaniny veľkou mierou vplýva materiálové zloženie tkaniny, dostava a jemnosť, z ktorých je tkanina vytvorená. Vplyv materiálu na priedušnosť tkaniny je možné potvrdiť z rozdielnej hustoty vlákien bavlny a polypropylénu. Bavlna má zreteľne väčšiu hustotu 1520 kg.m^{-3} ako polypropylén 910 kg.m^{-3} . Môžeme teda konštatovať, že čím väčší je zmesový podiel polypropylénu, tým väčší bude priemer priadze a tým bude nižšia priedušnosť tkaniny. Z obrázku sa dá vyčítať, že priedušnosť má klesajúcu tendenciu pri stúpajúcej dostave útku, keďže sa zvyšuje zakrytie útku. Najvyššiu hodnotu priedušnosti má tkanina zo 100 % CO s dostavou útku 104 nt/10 cm, ktorá má najmenší priemer priadze a tým aj najväčšie póry, ktorými môže prúdiť vzduch.



Obrázok 31 Vzťah medzi experimentálne zistenou plošnou pórovitosťou [-] a priedušnosťou tkaniny [m/s]

Diskusia: Tento graf vypovedá o korelácii medzi experimentálne nameranými hodnotami pórovitosti a priedušnosti tkaniny, pri rôznych zmesových podieloch. Ako je vidieť, tak hodnoty koeficientov korelácií sú vysoko nad 0,9; preto môžeme záverom potvrdiť, že 90 % hodnôt medzi sebou úzko súvisí.



Obrázok 32 Vzťah medzi prieđušnosťou [m/s] a hustotnou a plošnou pórovitosťou tkaniny [-]

Diskusia: Na obr. 32 je graficky znázornená závislosť prieđušnosti na hustotnej pórovitosti (definovaná v kapitole 3.2.1), kde korelačný koeficient je 0,97 a taktiež závislosť prieđušnosti na experimentálne zistenej plošnej pórovitosti tkaniny, kde korelačný koeficient je 0,92. Hustotná pórovitosť a experimentálna plošná pórovitosť korelujú s prieđušnosťou. Na záver môžeme skonštatovať, že pórovitosť bola dobre nameraná a aj vypočítaná.

6.8 Meranie tepelnej vodivosti

Na meranie tepelnej vodivosti zvolených materiálov boli použité dva prístroje určené na meranie tepelno-izolačných vlastností. Prístroj Alambeta a Model C-Therm TCi - analyzátor tepelnej vodivosti, ktoré namerali hodnoty nezávisle od seba. Následne boli dáta vyhodnotené a porovnané.

Funkcia a obsluha prístrojov je popísaná v kapitole 4. Viac vid'. IN [28].

Postup merania na prístroji Alambeta: Skúška sa vykonáva na vzorkách klimatizovaných v klimatizačnej komore. Aby bol dosiahnutý čo najlepší tepelný kontakt medzi vzorkou a meracou hlavickou, musia sa vzorky vkladať zbavené akýchkoľvek nečistôt, najmenej 3 cm od pevného kraja meraného materiálu, bez nijakých prehybov alebo zvlnení. Premeriavané miesta sa musia na vzorke rozmiestniť tak, aby nedochádzalo k opakovanému meraniu zahriatych miest. Hlavica ktorá je

vyhrievaná na teplotu 35 °C sa spustí na vzorku a snímač premeria tepelný tok medzi jednotlivými povrchmi. Prítlak prístroja je štandardne nastavený na 200 Pa. Namerané dáta sú spracované počítačom. Na jednom materiály bolo prevedených desať meraní na rôznych miestach.

Podmienky merania na prístroji Alambeta: prítlak hlavice 200 Pa, vzorky klimatizované na teplotu 20 ± 2 ° C a relatívnu vlhkosť vzduchu $65 \pm 2\%$

Postup merania na prístroji C-Therm TCi: Skúška bola vykonaná na dopredu klimatizovaných vzorkách. Na plochu snímacieho senzora prístroja TCi sa ukladali merané materiály. Meraná plocha bola zaťažená závažím o hmotnosti 500g a prítlakom 3880 Pa, ktoré patrí ku snímaču. Prístroj umožňuje premerať materiál viackrát na jednom mieste, preto bolo prevedené na jednom materiály vždy päť meraní, a to na piatich rôznych miestach. Namerané hodnoty boli zaznamenané pomocou softwaru pre C – Therm TCi do počítača a ďalej prevedené do programu Microsoft Excel kvôli spracovaniu nameraných dát.

Podmienky merania: prítlak 3880 Pa, vzorky klimatizované na teplotu 20 ± 2 ° C a relatívnu vlhkosť vzduchu $65 \pm 2\%$.

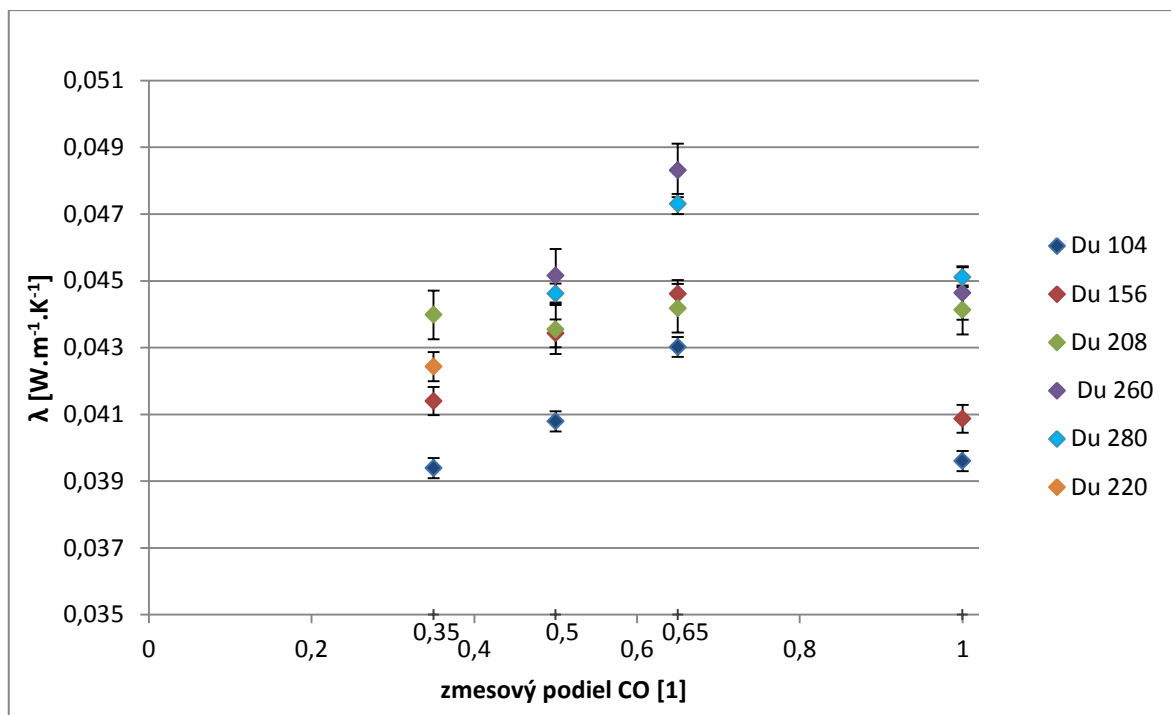
Namerané hodnoty sú uvedené v tab. 9, 10 a grafické znázornenie výsledkov merania je na obr. 33, 34. Viac vid'. príloha 6 a príloha 7.

Tabuľka 9 Experimentálne zistené hodnoty tepelnej vodivosti tkaniny [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] namerané na prístroji TCi

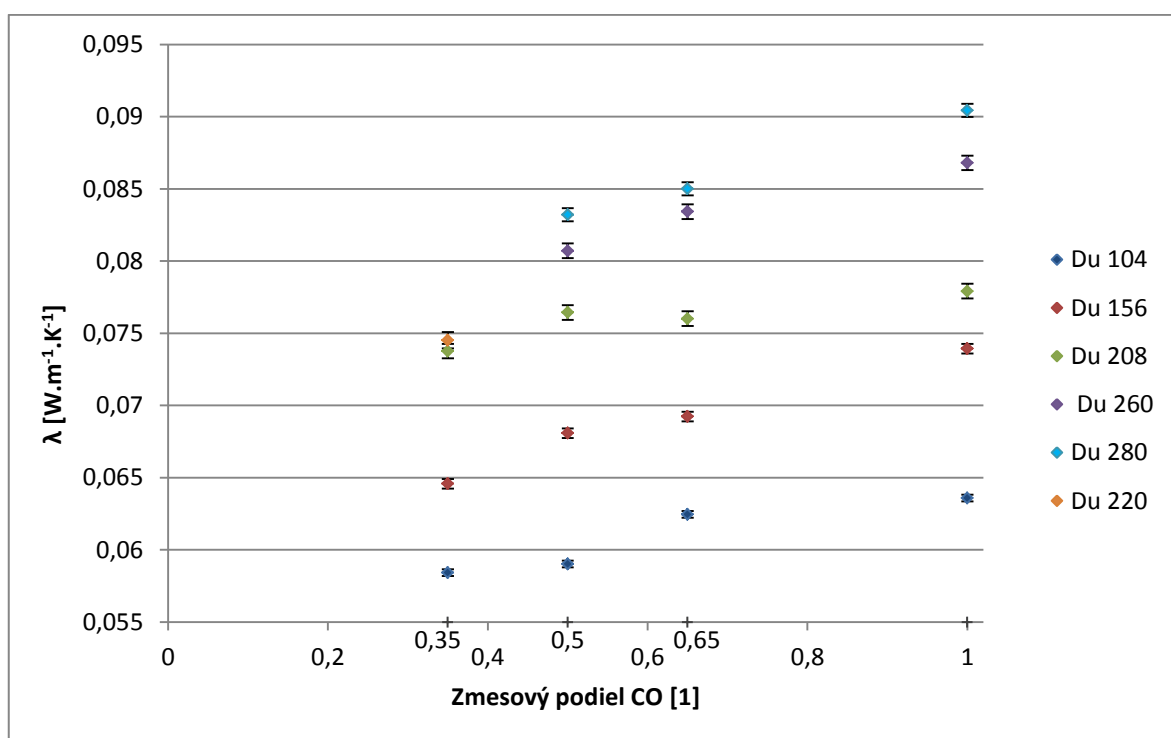
Du [pn/10cm] tkanina	104	156	208	220	260	280
100% CO	0,0636	0,0739	0,0779	-	0,0868	0,0904
65%CO/35%POP	0,0625	0,0692	0,0760	-	0,0834	0,0850
50%CO/50%POP	0,0590	0,0681	0,0764	-	0,0807	0,0832
35%CO/65%POP	0,0584	0,0646	0,0738	0,0745	-	-

Tabuľka 10 Experimentálne zistené hodnoty tepelnej vodivosti tkaniny [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] namerané na prístroji Alambeta

Du [pn/10cm] tkanina	104	156	208	220	260	280
100% CO	0,0396	0,0409	0,0441	-	0,0446	0,0451
65%CO/35%POP	0,0430	0,0446	0,0442	-	0,0483	0,0473
50%CO/50%POP	0,0408	0,0434	0,0435	-	0,0452	0,0446
35%CO/65%POP	0,0394	0,0414	0,0440	0,0424	-	-



Obrázok 33 Vplyv zmesového podielu na tepelnú vodivosť tkaniny [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$] nameranú Alambetou



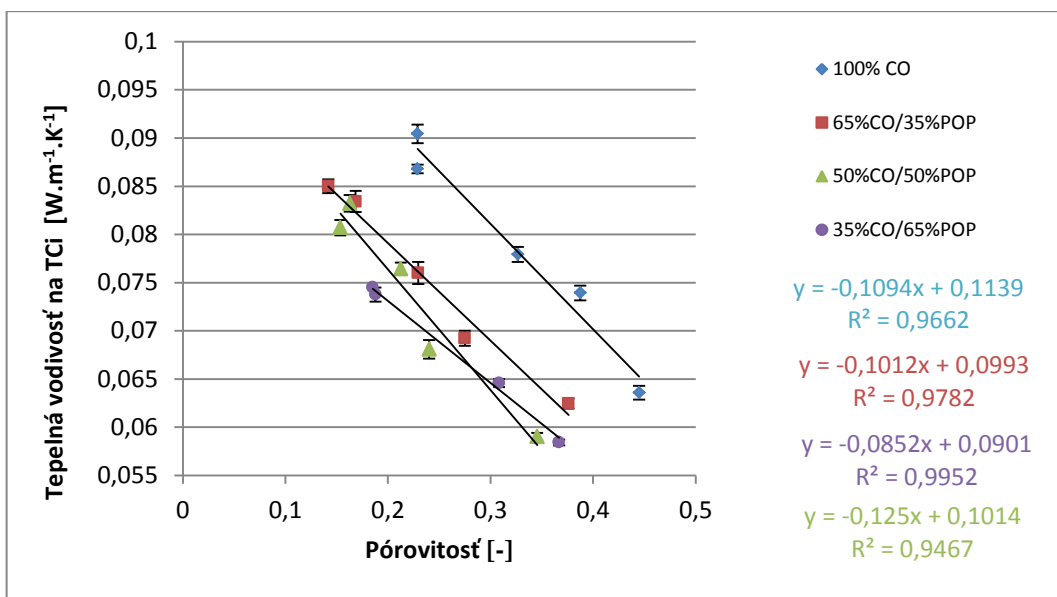
Obrázok 34 Vplyv zmesového podielu na tepelnú vodivosť tkaniny nameranú TCi

Diskusia: Na vyššie uvedených grafoch môžeme spozorovať odlišné experimentálne hodnoty tepelnej vodivosti namerané na dvoch rozdielnych prístrojoch. Ako môžeme

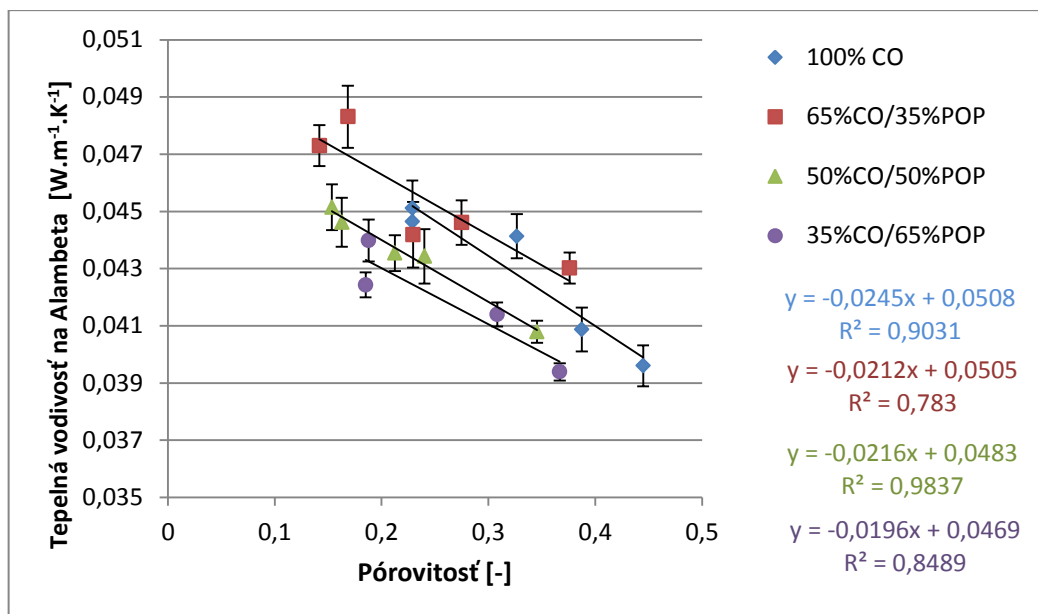
vidieť tepelná vodivosť nameraná na C-Therm TCi je väčšia ako tepelná vodivosť nameraná na Alambete. Pravdepodobne za to môže rozdielnosť prístrojov, iný princíp merania a iný prítlak.

Prístroj C-Therm TCi: So zvyšujúcou sa dostavou útku, teda s narastajúcim počtom nití sa zvyšuje tepelná vodivosť. Najnižšiu tepelnú vodivosť majú materiály s dostavou útku 104 nt/10cm. Z obr. 34 vyčítame že najvyššiu tepelnú vodivosť má 100% bavlna a postupným zvyšovaním polypropylénu v zmesovom podiele tepelná vodivosť klesá.

Prístroj Alambeta: Na obr. 33 je vidieť, že tepelná vodivosť nameraná prístrojom Alambeta má rôzne hodnoty. Aj tu ale môžeme spozorovať, že so zvyšujúcou sa dostavou útku (rastúcim počtom nití) sa tepelná vodivosť zvyšuje. Najvyššia tepelná vodivosť sa preukázala u materiáloch so zmesovým podielom 65%CO/35% POP.

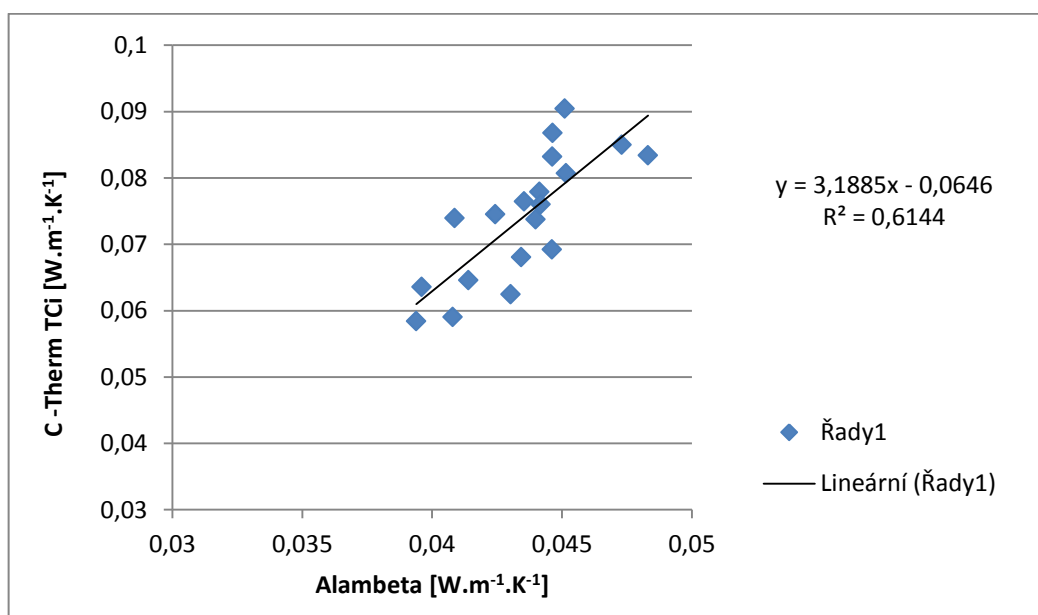


Obrázok 35 Závislosť tepelnej vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] nameranej prístrojom TCi na plošnej pórovitosti [-]



Obrázok 36 Závislosť tepelnej vodivosti $[W.m^{-1}.K^{-1}]$ nameranej prístrojom Alambeta na plošnej pórovitosti $[-]$

Diskusia: Grafy vypovedajú o korelácií medzi tepelnou vodivosťou a experimentálne zistenými hodnotami pórovitosti zmeranými obrazovou analýzou. Na obr. 36 je znázornená závislosť tepelnej vodivosti nameranej prístrojom C-Therm TCi na pórovitosť tkaniny, kde hodnoty korelácií sú vysoko nad 0,9, tá je vyššia ako závislosť tepelnej vodivosti nameranej prístrojom Alambeta na pórovitosť tkaniny (obr. 35), kde korelačný koeficient začína na 0,88.



Obrázok 37 Vzťah medzi tepelnou vodivosťou $[W.m^{-1}.K^{-1}]$ nameranou na prístroji Alambeta a prístroji C-Therm TCi

Diskusia: Na obr. 37 je grafický znázornená korelácia medzi tepelnou vodivosťou nameranou na prístroji Alambeta a tepelnou vodivosťou nameranou na prístroji C-Therm TCI. Ako je vidieť, korelačný koeficient je 0,78.

6.9 Porovnanie modelov popisu štruktúry tkaniny

Teoretická časť tejto práce uvádza niekoľko modelov pórovitosti tkaniny. Každý jeden model prináša do predikcie pórozity niečo nového a pristupuje k nej odlišným spôsobom, týmito modelmi pórovitosti sa podrobne zaoberala Čapková [35] vo svojej diplomovej práci. Pre našu prácu boli vybrané na porovnanie tieto modely:

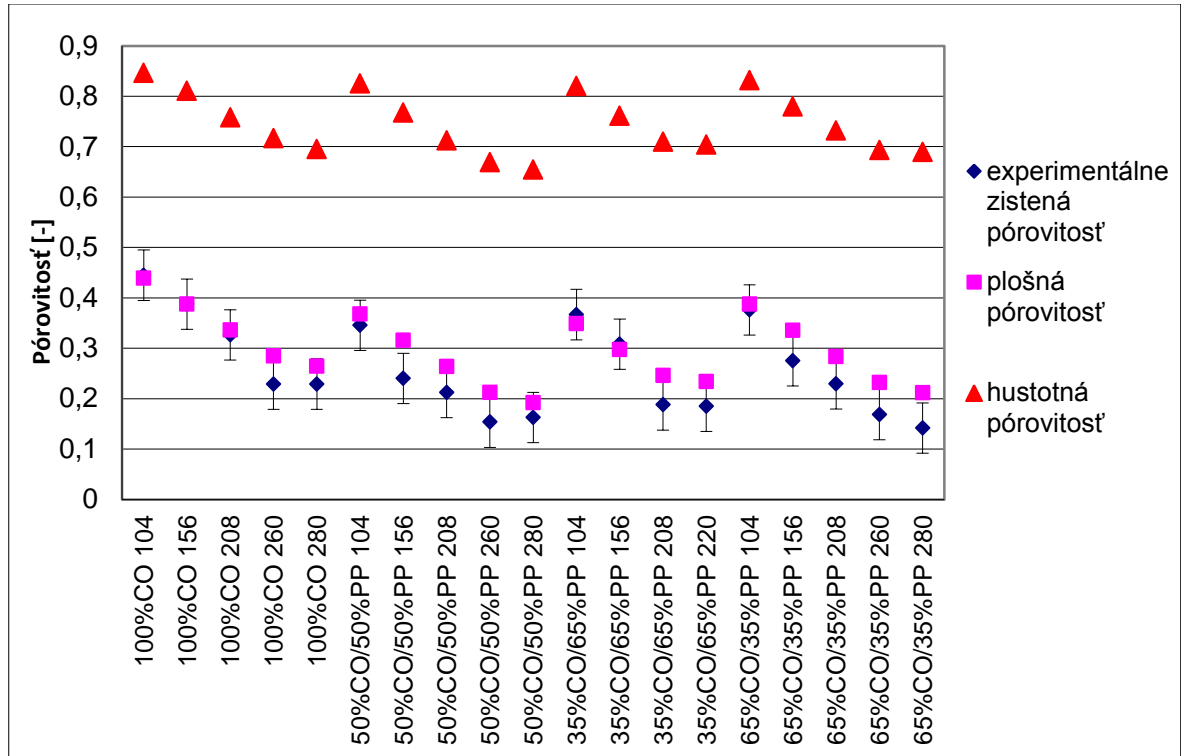
- Hustotná pórovitosť P_p , vid'. kapitola 3.2.1
- Plošná pórovitosť P_s , vid'. kapitola 3.2.3

Tieto modely boli použité na súbore experimentálnych tkanín, tak ako to môžeme vidieť v tab. 11.

Tabuľka 11 Porovnanie modelov popisujúcich štruktúru tkaniny

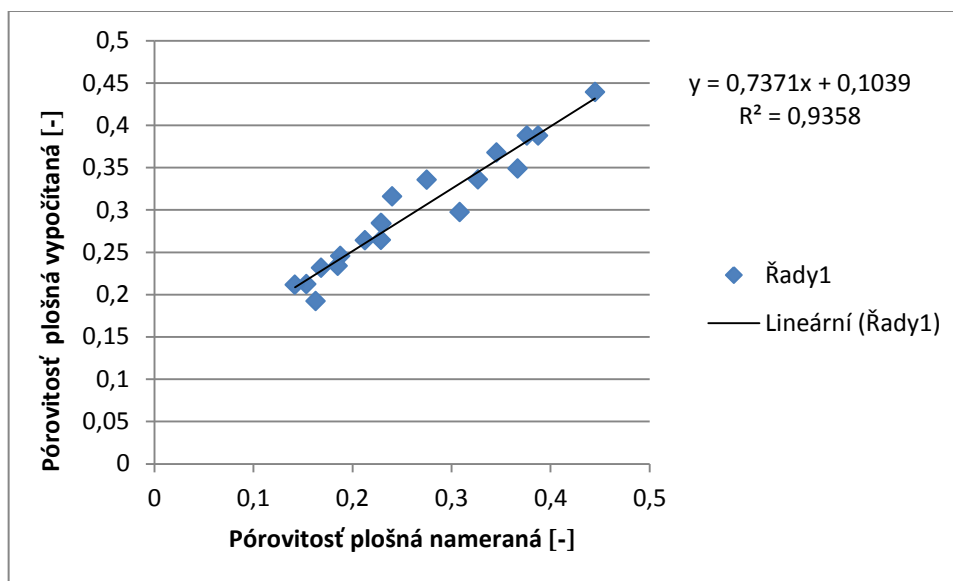
	P_p [1]	$P_s \text{ exp. [1]}$	P_s [1]
100% CO	0,8461	0,4449	0,4391
100% CO	0,8104	0,3874	0,3875
100% CO	0,7575	0,3266	0,3358
100% CO	0,7165	0,2288	0,2842
100% CO	0,6952	0,2289	0,2644
65%CO/35%POPs	0,8313	0,3760	0,3676
65%CO/35%POPs	0,7794	0,2749	0,3157
65%CO/35%POPs	0,7318	0,2295	0,2639
65%CO/35%POPs	0,6929	0,1684	0,2121
65%CO/35%POPs	0,6893	0,1418	0,1922
50%CO/50%POPs	0,8248	0,3455	0,3486
50%CO/50%POPs	0,7670	0,2402	0,2971
50%CO/50%POPs	0,7119	0,2124	0,2456
50%CO/50%POPs	0,6685	0,1535	0,2337
50%CO/50%POPs	0,6544	0,1628	0,3876
35%CO/65%POPs	0,8203	0,3667	0,3356
35%CO/65%POPs	0,7611	0,3082	0,2836
35%CO/65%POPs	0,7092	0,1878	0,2316
35%CO/65%POPs	0,7035	0,1851	0,2116

Na obr. 38 sú porovnané rozdiely medzi vypočítanými modelmi pórovitosti a experimentálnou pórovitosťou, pri všetkých zmesových podieloch a všetkých dostavách útku.



Obrázok 38 Porovnanie nameranej a teoreticky vypočítanej pórovitosti [-]

Diskusia: Hustotná pórovitosť P_p je oveľa väčšia ako pórovitosť plošná P_s . Príčinou toho je, že tkanina je podľa modelu pórovitosti P_p teoreticky ponímaná ako plochá doštička, ktorá neberie do úvahy reliéf povrchu plošnej textílie. Póry v textílii sú chápané i priestory vyplnené vzduchom, ktoré sú už ale mimo textíliu. Z nameranej plošnej hmotnosti, hrúbky tkaniny a známej hustoty vlákien nie je zložitá vypočítať hustotnú pórovitosť P_p podľa vzťahu (29). Plošná pórovitosť P_s vyplýva zo zakrytia, teda zanedbáva 3-dimenzionálnu štruktúru pórov tkaniny. Teoreticky sme ju vypočítali podľa vzťahu (33) a pomocou prevzatých parametrov. Preto sme pri predikcii tepelnej vodivosti ráтали len s plošnou pórovitosťou nameranou. Experimentálne zistená pórovitosť je menšia ako vypočítaná plošná pórovitosť, ale ako vidíme na obr. 38, konfidenčné intervaly nameranej pórovitosti prekrývajú hodnoty vypočítanej plošnej pórovitosti. Najmenšia je teda experimentálne zistená pórovitosť, ktorá je chápaná ako plocha zakrytá pórmí ku celkovej ploche.



Obrázok 39 Vzťah medzi nameranou a vypočítanou plošnou pórovitosťou [-]

Diskusia: Tento graf vypovedá o korelácii medzi experimentálne nameranými hodnotami a vypočítanými hodnotami plošnej pórovitosti. Ako je vidieť, tak hodnota korelačného koeficientu je 0,97.

6.10 Vzťah medzi predikovanou a experimentálnou tepelnou vodivosťou

Tepelná vodivosť tkaniny bola predikovaná podľa dvojfázového modelu, ako ho uvádza Militký, vid'. kapitola 4.2 a následne porovnaná s experimentálnymi hodnotami tepelnej vodivosti. Toto porovnanie je uvedenú v prílohe 10 a graficky zobrazené na obrázku 40.

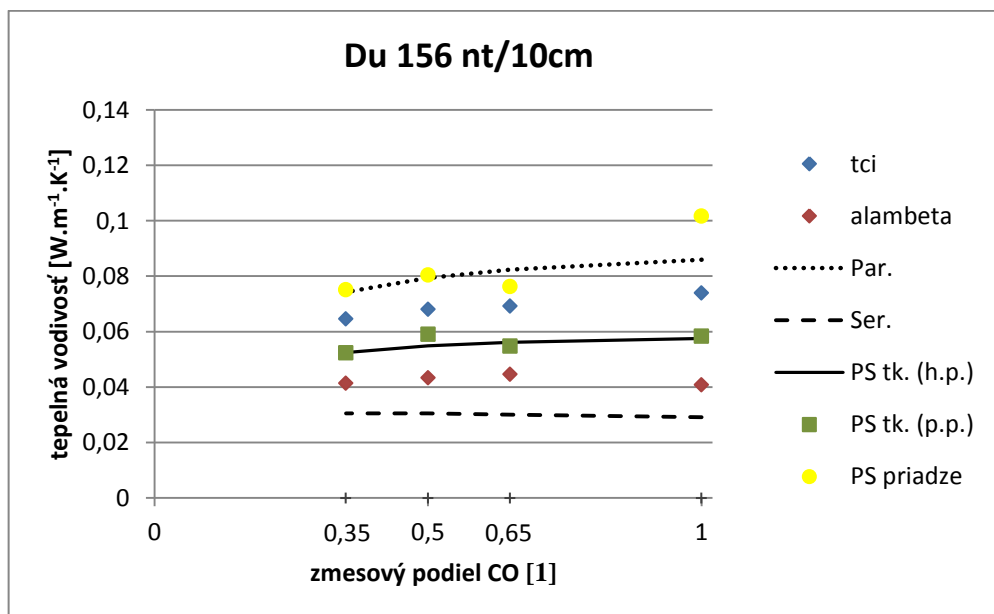
Do vzťahov pre predikciu tepelnej vodivosti boli dosadené konštantné hodnoty tepelnej vodivosti suchej bavlny $\lambda_{cot} = 0,352 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$, tepelná vodivosť amorfného polypropylénu $0,172 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$, tepelná vodivosť suchého vzduchu $\lambda_a = 0,024 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$ a za pórovitosť P_D boli dosadené tieto modely pre predikciu pórovitosti:

- Hustotná pórovitosť P_p , vid'. kapitola 3.2.1
- Plošná pórovitosť P_s , vid'. kapitola 3.2.3

Vďaka parametrom uvedeným vyššie v práci boli vypočítané pórovitosti P_p a P_s , ktoré sú potrebné k predikcii tepelnej vodivosti tkaniny.

Z jednotlivých textilných vzoriek, pomocou prístrojov Alambeta a C-Therm TCi bola nameraná experimentálna tepelná vodivosť. Pre výpočet limitov tepelnej vodivosti textílií λ_S , λ_P , λ_{PS} podľa metodiky uvedenej už v spomínanej kapitole boli použité vzťahy (46), (47), (48).

Experimentálne a predikované hodnoty tepelnej vodivosti sú vynesené do grafu, obr. 40. Grafy pre ostatné tkaniny sú uvedené v prílohe 8.



Obrázok 40 Experimentálne a vypočítané tepelné vodivosti $[W.m^{-1}.K^{-1}]$ závislé na hustotnej pórovitosti a plošnej pórovitosti $[-]$

Horná krivka na obr. 40 zodpovedá výpočtu podľa paralelného usporiadania (viď. vzťah 46) hornej hranici λ_P , dolná krivka je vypočítaná podľa sériového usporiadania, (viď. vzťah 47) zodpovedá dolnej hranici λ_S a stredná krivka je aritmetickým priemerom (viď. vzťah 48) λ_{PS} .

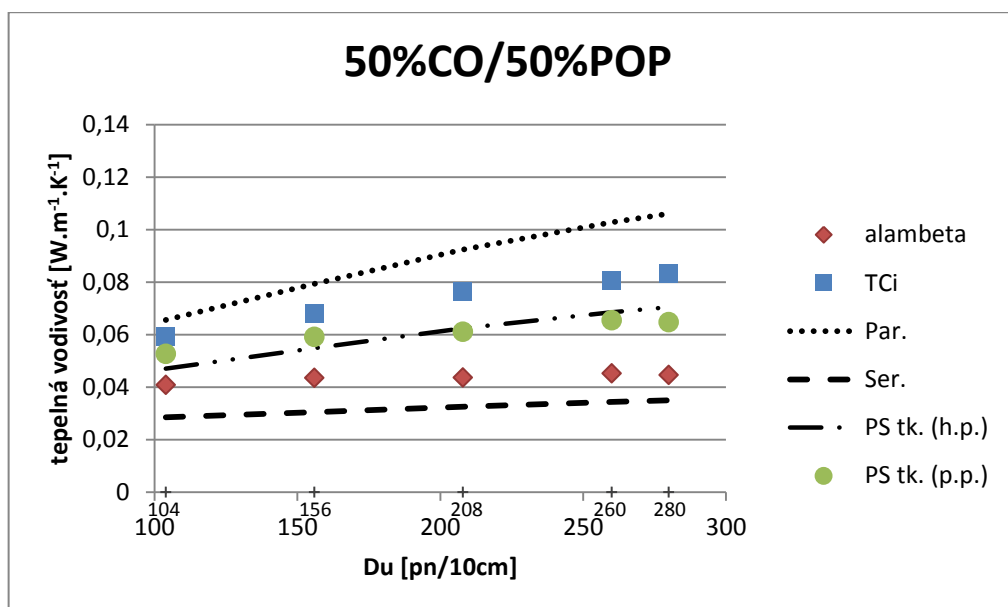
Diskusia: Z vodivosti vlákna a vodivosti vzduchu sme vypočítali takú vodivosť, ktorá sa blíži výsledkom experimentálne získanej tepelnej vodivosti nameranej na prístrojoch Alambeta (červené body) a C-Therm TCi (modré body).

Pomocou zistenej hustotnej pórovitosti sa použitím dvojfázového modelu vyjadrila tepelná vodivosť tkaniny, výpočtom λ_P (···), λ_S (- - -) a λ_{PS} (—). Taktiež sa počítala podľa dvojfázového modelu a s využitím pórozy priadze vodivosť priadze (žlté body) a z vodivosti priadze a plošnej pórovitosti vodivosť tkaniny (zelené body).

Hodnoty namerané na prístrojoch sa nachádzajú v oblasti predikovaných dát z dvojfázového modelu, takže dvojfázový model je možné použiť pre predikciu tepelnej vodivosti. Výsledky z prístroja C-Therm TCi sa viac blížia paralelnému usporiadaniu a výsledky z Alambety sa blížia skôr k sériovému usporiadaniu. Experimentálne hodnoty tepelnej vodivosti sú prakticky plne kryté vypočítanými limitmi tepelnej vodivosti.

Čo sa týka vplyvu zmesového podielu, ako môžeme na obr. 40 vidieť, aj pri nižšej tepelnej vodivosti polypropylénu, vzhľadom k tesnejšiemu usporiadaniu vlákien, dochádza ku zvýšeniu vodivosti. A to preto, že polypropylénové vlákna sú viac stlačené a v reze vytvárajú väčšie plochy, z čoho vyplýva, že majú vyššie zaplnenie, nižšiu pórovitosť a väčší priemer než bavlnená priadza. S rastom podielu bavlny sa vodivosť mierne zvyšuje alebo sú rozdiely štatistický nevýznamné.

Vplyv dostavy na experimentálne a dvojfázovým modelom vypočítané tepelné vodivosti tkanín je znázornený na obr.41

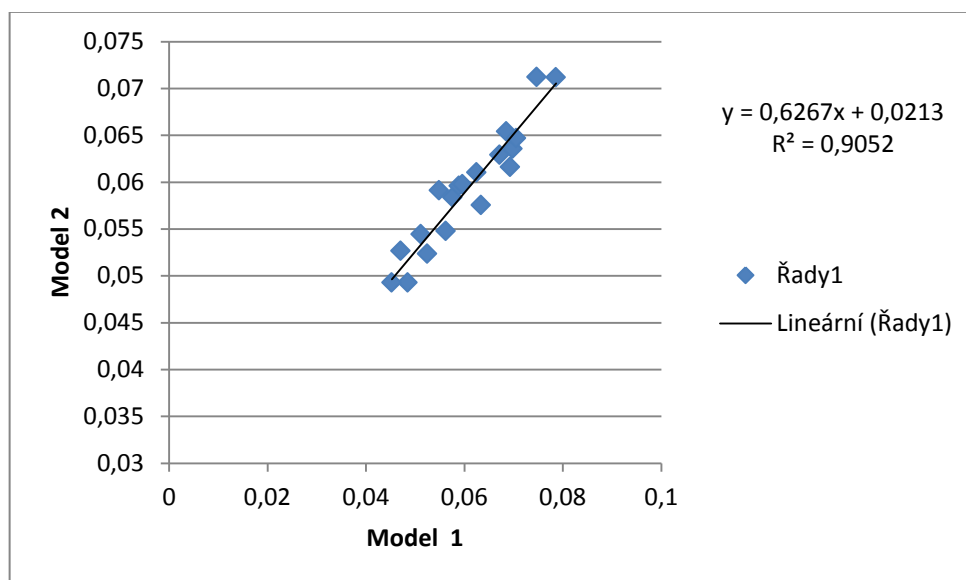


Obrázok 41 Vplyv dostavy na experimentálne a vypočítané tepelné vodivosti tkanín [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

Diskusia: Na tepelnú vodivosť tkaniny taktiež vplýva dostava, kde môžeme spozorovať, že s narastajúcim počtom nití sa tepelná vodivosť zvyšuje. Teda so zvyšujúcou dostavou sa zvyšuje tepelná vodivosť. Najnižšiu tepelnú vodivosť majú materiály s dostavou útku 104 nt/10 cm a najvyššiu vzorky s dostavou útku 280 nt/10 cm.

Ďalšie grafy vplyvu dostavy útku na experimentálne a vypočítané modely tepelnej vodivosti tkanín s rôznymi zmesovými podielmi sú uverejnené v prílohe 9.

Korelácia medzi tepelnými vodivosťami vypočítanými z hustotnej a z plošnej pórovitosti



Obrázok 42 Vzťah medzi tepelnou vodivosťou vypočítanou z hustotnej pórovitosti a tepelnou vodivosťou vypočítanou z plošnej pórovitosti

Diskusia: Model 1 je tepelná vodivosť tkaniny vypočítaná z hustotnej pórovitosti tkaniny pomocou vodivosti vzduchu a vlákna. Model 2 je tepelná vodivosť tkaniny vypočítaná z plošnej pórovitosti tkaniny využitím tepelnej vodivosti priadze. Korelačný koeficient 0,95 značí koreláciu medzi modelom 1 a modelom 2.

ZÁVER

Úlohou diplomovej práce bolo zamerať sa na testovanie pórovitosti a tepelnej vodivosti tkanín vyrobených zo zmesi bavlny a polypropylénu.

V diplomovej práci sú popísané geometrické parametre priadze a tkaniny, priedušnosť tkanín, modely pre výpočet pórovitosti tkaniny, ktorá je východiskovým parametrom pre predikciu tepelnej vodivosti.

Experimentálnymi metódami bola zistená hrúbka, plošná hmotnosť, dostava, pórovitosť, priedušnosť a tepelná vodivosť tkanín. Hrúbka bola nameraná na tloušťkomeru FF-27 s prítlakom 1kPa. Priedušnosť nameraná na prístroji FX 3300, pri tlakovom spáde 100 Pa. Pomocou obrazovej analýzy, sa na nasnímaných obrazoch tkanín zistila plošná pórovitosť tkanín. Prístrojmi Alambeta a C-Therm TCi bola nameraná tepelná vodivosť experimentálnych tkanín.

Pri výrobe priadzí a tkanín z rôznych materiálov, v našom prípade bavlna a polypropylén, dochádza vzhľadom k rozdielom vo vlastnostiach vlákien (hustota, dĺžka), aj pri rovnakej konštrukcii priadze (rovnaká jemnosť, dostava, technológia výroby priadze) k tomu, že polypropylénové vlákna sú viac stlačené a v reze vytvárajú väčšie plochy- vyššie zaplnenie, nižšia pórovitosť, väčší priemer ako bavlnená priadza. V tkanine vzniká v dôsledku toho vyššie zaplnenie a nižšia pórovitosť, čo zvyšuje vodivosť polypropylénovej tkaniny.

Na základe vykonaných prieskumov môžeme tepelnú vodivosť tkaniny, plátrovej väzby zo zmesi bavlny a polypropylénu, predvídať z plošnej pórovitosti ako aj hustotnej pórovitosti a z kombinovaného modelu paralelného a sériového usporiadania. Predstavený prístup pre predikciu tepelnej vodivosti poskytuje dostatočne presné výsledky za účelom predikcie tepelného komfortu.

Návrhom pre ďalší experiment je možnosť zaliť experimentálne vzorky do polyvinylalkoholu (PVA) a opäť zmerať tepelnú vodivosť. Meralo by sa s tepelnou vodivosťou polyvinylalkoholu miesto vzduchu. Ten vyplní póry a máme fázu, ktorá je v póroch.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] MILITKY, Jiří. *Textilní vlákna*. Liberec, 2005. [Elektronická skripta]. Dostupné z: <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/list_aut.cgi?aut=21&skr=18&pro=>>
- [2] KOVÁŘ, Radko. *Struktura a vlastnosti plošných textilií*. Liberec, 2002. ISBN 80-7083-676-8.
- [3] KŘEMENÁKOVÁ, Dana. *Interní norma 108-01/01: Geometrické vlastnosti staplových přízí*. Liberec, 2002. Dostupné z: <http://centrum.tul.cz/centrum/centrum/5Normy/IN%2012-108-01_01.pdf>
- [4] NECKÁŘ, Bohuslav. *Příze. Tvorba, struktura, vlastnosti*. Praha, 1990. ISBN 80-03-00213-3.
- [5] KŘEMENÁKOVÁ, Dana. *Studie „Počítačově podporované systémy projektování“. Modelování geometrických a mechanických vlastností přízí*. Liberec, 2011.
- [6] HAVRDOVÁ, Márie. *Příspěvek k hodnocení prodyšnosti oděvních tkanin*. Liberec, 2004. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci.
- [7] NECKÁŘ, Bohuslav. *Morfologie a strukturní mechanika obecných vláknenných útvarů*. Liberec, 1998. [Elektronická skripta]. Dostupné z: <<https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2003-01-13/08-49-31.pdf>>
- [8] KŘEMENÁKOVÁ, Dana. *Systém projektování textilních struktur. Část 1 „vlákno – příze“*. Liberec, 2004. [Výzkumná zpráva].
- [9] HUŠKOVÁ, Martina. *Geometrické vlastnosti směsových přízí*. Liberec, 2006. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
- [10] KŘEMENÁKOVÁ, Dana. *Modelování geometrie a pevnosti bavlnářských přízí*. Liberec, 2005. Habilitační práce. Technická univerzita v Liberci.
- [11] KOLČAVOVÁ SÍRKOVÁ, Brigita. *Systém projektování textilních struktur. Část 2 „příze – tkanina“*. Liberec, 2004. [Závěrečná zpráva].
- [12] MRÁZIKOVÁ, Irena. *Vazby tkanin listové: základní, odvozené a složené*. Liberec, 2002. ISBN 80-7083-627-X.
- [13] HRUDA, Ivo; MORAVEC, Vladimír. *Technologie 1, část 2., Technologie přípravy a tkaní, Vazby listových tkanin*. Liberec, 1985.
- [14] NOSEK, Stanislav. *Struktura a geometrie tkanin*. Ústí nad Orlicí, 1974. [Studijní materiály].
- [15] DRAŠAROVÁ, Jana. *Analýza příčných řezu tkaniny*. Liberec, 2004. [Disertační práce].

- [16] ČSN EN ISO 5084 (80 0844). *Textilie – Zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků*. Praha, 1998.
- [17] HAVLOVÁ, Marie. *Hodnocení prodyšnosti směsových tkanin s plátňovou vazbou*. Liberec, 2010. [Výzkumná zpráva].
- [18] BACKER, Stanley. *The relationship between the structural geometry of a textile fabric and its physical properties*. Textile Research Journal 21, 1951.
- [19] MILITKÝ, Jiří; KŘEMENÁKOVÁ, Dana. *Prediction of fabrics thermal conductivity*. Dubrovnik, 2010.
- [20] GOOIER, Hendrik. *Flow Resistance of Textile Materials*. Enschede, 1998. ISBN 90-36511240.
- [21] MUSHTAQ, Muhammad; MILITKÝ, Jiří; HES, Luboš. *Thermal Resistance of Cotton Denim Fabric under various Moisture Conditions*. Liberec, 2012.
- [22] VAN KREVELEN, D.W. *Properties of Polymers, Correlations with Chemical Structure*. Elsevier, 1992.
- [23] HAGHI, A.K. *Factors effecting water- vapor transport through fibers*. Belgrade, 2003.
- [24] CIFRAIN, Josef. *Co je tepelná vodivost?* [Online]. [Cit. 2012-12-08]. Dostupné z: <www.tepelna-izolace.cz/co-je-tepelna-vodivost.html>
- [25] Propustnost tepla. [Online]. [Cit. 2012-10-07]. Dostupné z: <www.eis.cz/dokumenty/973_4_0_12000-10-06_13-53-09.doc>
- [26] ČERNOHLÁVKOVÁ, Lenka. *Vliv vlhkosti na tepelně izolační vlastnosti specialních oděvů*. Liberec, 2012. [Diplomová práce].
- [27] HES, Luboš; SLUKA, P. *Úvod do komfortu textilií*. Liberec, 2005. ISBN 80-7083-926-0.
- [28] Interná norma č. 23-304-02/01: *Měření tepelných vlastností na přístroji Alambeta*
- [29] C-Therm TCi Operator Manual
- [30] ČSN EN ISO 9237. *Zjišťování prodyšnosti plošných textilií*. Brno, 1996.
- [31] TEXTTEST INSTRUMENTS. *Air Permeability Tester FX3300 Labotester III*. [Online]. [Cit. 2012-10-03]. Dostupné z: <http://www.texttest.ch/pdf-files_en/3300-III_leaflet_en.pdf>
- [32] ČSN EN 1049-2 (80 0814). *Tkaniny. Konstrukce. Metody analýzy. část 2: Stanovení dostavy*. Brno, 1995.
- [33] ČSN EN 12127 (800849). *Textilie - Plošné textilie - Zjišťování plošné hmotnosti pomocí malých vzorků*. Praha, 1998.

- [34] IN 23-107-01/01. *Plošné zakrytí tkanin*. Liberec, 2001.
- [35] ČAPKOVÁ, Lucie. *Hodnocení prodyšnosti bavlnářských tkanin s plátňovou vazbou*. Liberec, 2010. [Diplomová práce].

Zoznam obrázkov

Obrázok 1	Rozdiel medzi priemerom priadze d a substančným priemerom priadze d_s [4].....	18
Obrázok 2	Priebeh radiálneho zaplnenia bavlnených (29,5 tex, $59 \text{ m}^{-1} \text{ktex}^{2/3}$) a polypropylénových (29,5 tex, $58 \text{ m}^{-1} \text{ktex}^{2/3}$) prstencových priadzí- vplyv suroviny[5].....	20
Obrázok 3	Typy štruktúr a zobrazenie chlpatosti [4].....	21
Obrázok 4	Zidealizovaný prierez dvojkomponentnej priadze [9].....	23
Obrázok 5	Schéma osnovného a útkového väzbového bodu [12].....	25
Obrázok 6	Plátnová väzba.....	25
Obrázok 7	Väzbová bunka tkaniny.....	26
Obrázok 8	Peircov model previazania [11].....	27
Obrázok 9	Hyperbolický model previazania nití v tkanine [11].....	27
Obrázok 10	Deformovaný prierez nite: ovál (kemp), elipsa, šošovka [15].....	28
Obrázok 11	Tloušťkoměr FF-27.....	30
Obrázok 12	Priemet tkaniny v plátnovej väzbe do roviny tkaniny [11].....	34
Obrázok 13	Štyri typy pórových buniek podľa Backera [11].....	34
Obrázok 14	Plošné zobrazenie póru typu 1.....	35
Obrázok 15	Idealizovaný povrch projekcie tkaniny (d_c - priemer útkovej priadze, d_M - priemer osnovnej priadze) [19].....	36
Obrázok 16	Možnosti stanovenia plochy póru; a – rez v najužšom mieste póru vedený rovnobežne s rovinou tkaniny; b – rez v najužšom mieste póru vedený kolmo na šikmý smer prúdenia vzduchu; c – rez póru interpretovaného ako priemet otvorenej plochy tkaniny do roviny [20].....	38
Obrázok 17	Priemet namočeného obvodu prvého typu pórovej bunky v tkanine podľa Gooijera [20].....	38
Obrázok 18	Schéma zjednodušeného 3-D modelu pórozity [11].....	40
Obrázok 19	Tepelný transport pevným telesom [21].....	42
Obrázok 20	Limitné usporiadanie nití (čierna) a vzduchu (biela) v modeli vodivosti [21].....	47
Obrázok 21	Schéma meracieho prístroja ALAMBETA [28].....	50
Obrázok 22	Analyzátor tepelnej vodivosti C-Therm TCi [29].....	51
Obrázok 23	Prístroj FX 3300 Air Permeability Tester III.....	53
Obrázok 24	Vplyv zmesového podielu a rôznej dostavy útku na hrúbku tkaniny [mm].....	56
Obrázok 25	Vplyv zmesového pomeru a rôznej dostavy útku na plošnú hmotnosť tkaniny [g/m^2].....	57
Obrázok 26	Vplyv zmesového podielu na hustotu tkaniny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$].....	58
Obrázok 27	Pohľad na binárny obraz tkaniny získaný prahom $T=25$, 65% CO/35% POP, Du 208 nt/10cm	60
Obrázok 28	Vplyv zmesového podielu na experimentálne zistenú pórovitosť tkaniny [-].....	60

Obrázok 29	Vzťah medzi pórovitosťou [-] a hustotou tkaniny [kg.m^{-3}].....	61
Obrázok 30	Vplyv dostavy a zmesového podielu priadze na priedušnosť tkaniny [m/s].....	62
Obrázok 31	Vzťah medzi experimentálne zistenou plošnou pórovitosťou [-] a priedušnosťou tkaniny [m/s].....	63
Obrázok 32	Vzťah medzi priedušnosťou [m/s] a hustotnou a plošnou pórovitosťou tkaniny [-].....	64
Obrázok 33	Vplyv zmesového podielu na tepelnú vodivosť tkaniny [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$] nameranú Alambetou.....	66
Obrázok 34	Vplyv zmesového podielu na tepelnú vodivosť tkaniny [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$] nameranú TCi.....	66
Obrázok 35	Závislosť tepelnej vodivosti [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$] nameranej prístrojom TCi na plošnej pórovitosti [-].....	67
Obrázok 36	Závislosť tepelnej vodivosti [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$] nameranej prístrojom Alambeta na plošnej pórovitosti [-].....	68
Obrázok 37	Vzťah medzi tepelnou vodivosťou [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$] nameranou na prístroji Alambeta a prístroji C-Therm TCi.....	68
Obrázok 38	Porovnanie nameranej a teoreticky vypočítanej pórovitosti [-].....	70
Obrázok 39	Vzťah medzi nameranou a vypočítanou plošnou pórovitosťou [-].....	71
Obrázok 40	Experimentálne a vypočítané tepelné vodivosti [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$] závislé na hustotnej pórovitosti a plošnej pórovitosti [-].....	72
Obrázok 41	Vplyv dostavy na experimentálne a vypočítané tepelné vodivosti tkanín [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$].....	73
Obrázok 42	Vzťah medzi tepelnou vodivosťou [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$] vypočítanou z hustotnej pórovitosti [-] a tepelnou vodivosťou [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$] vypočítanou z plošnej pórovitosti [-].....	74

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1	Parametre použitých tkanín.....	54
Tabuľka 2	Plátňová väzba.....	55
Tabuľka 3	Experimentálne zistené hodnoty dostáv tkaniny [pn/10cm].....	55
Tabuľka 4	Experimentálne zistené hodnoty hrúbky tkaniny [mm] pri prítlaku 1kPa.....	56
Tabuľka 5	Experimentálne zistené hodnoty plošnej hmotnosti tkaniny [g/m ²].....	57
Tabuľka 6	Výpočet hustoty tkaniny [kg.m ⁻³].....	58
Tabuľka 7	Experimentálne zistené hodnoty pórovitosti tkaniny [-].....	60
Tabuľka 8	Experimentálne zistené hodnoty priedušnosti tkaniny [m/s].....	62
Tabuľka 9	Experimentálne zistené hodnoty tepelnej vodivosti tkaniny [W.m ⁻¹ .K ⁻¹] namerané na prístroji Alambeta.....	65
Tabuľka 10	Experimentálne zistené hodnoty tepelnej vodivosti tkaniny [W.m ⁻¹ .K ⁻¹] namerané na prístroji TCi.....	65
Tabuľka 11	Porovnanie modelov popisujúcich štruktúru tkaniny.....	69

Zoznam príloh

Príloha 1a	Experimentálne zistené hodnoty dostavy útku [nt/10cm]
Príloha 1b	Experimentálne zistené hodnoty dostavy osnovy [nt/10cm]
Príloha 2	Experimentálne zistené hodnoty hrúbky tkaniny [mm]
Príloha 3	Experimentálne zistené hodnoty plošnej hmotnosti tkaniny [g/m^2]
Príloha 4	Experimentálne zistené hodnoty pórovitosti tkaniny [-]
Príloha 5	Experimentálne zistené hodnoty priedušnosti tkaniny [m/s]
Príloha 6	Experimentálne zistené hodnoty tepelnej vodivosti namerané na prístroji Alambeta [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]
Príloha 7	Experimentálne zistené hodnoty tepelnej vodivosti namerané na prístroji TCi [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]
Príloha 8a,b,c,d	Experimentálne a vypočítané tepelné vodivosti [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$] závislé na hustotnej pórovitosti a plošnej pórovitosti [-]
Príloha 9	Vplyv dostavy na experimentálne a vypočítané tepelné vodivosti tkanín [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]
Príloha 10	Tepelná vodivosť tkaniny [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$] predikovaná podľa dvojfázového modelu

Príloha 1a Experimentálne zistené hodnoty dostavy útku [nt/10cm]

	<i>Du</i>	<i>D_u</i> [nt/10cm]	<i>s</i> [nt/10cm]	<i>v</i> [%]	95% IS
100% CO	104	109,0	1,00	0,917	<108,3; 109,7>
	156	165,6	1,50	0,904	<164,6; 166,6>
	208	224,8	2,99	1,332	<222,8; 226,8>
	260	275,0	2,05	0,745	<273,6; 276,4>
	280	292,4	1,96	0,670	<291,1; 293,7>
65%CO/35%POP	104	110,4	1,58	1,429	<109,3; 111,5>
	156	167,2	1,40	0,836	<166,2; 168,2>
	208	225,0	1,05	0,468	<224,2; 225,8>
	260	279,0	1,70	0,609	<277,8; 280,2>
	280	298,0	2,67	0,895	<296,1; 299,9>
50%CO/50%POP	104	111,4	0,97	0,867	<110,7; 112,1>
	156	167,4	1,35	0,806	<166,4; 168,4>
	208	231,2	3,16	1,365	<228,9; 233,5>
	260	279,6	2,07	0,739	<278,1; 281,1>
	280	298,8	3,29	1,102	<296,4; 301,2>
35%CO/65%POP	104	110,6	1,65	1,489	<109,4; 111,8>
	156	168,0	2,11	1,255	<166,5; 169,5>
	208	234,8	3,79	1,616	<232,1; 237,5>
	220	248,8	3,68	1,477	<246,2; 251,4>

Príloha 1b Experimentálne zistené hodnoty dostavy osnovy [nt/10cm]

	<i>Du</i>	<i>D_o</i> [nt/10cm]	<i>s</i> [nt/10cm]	<i>v</i> [%]	95% IS
100% CO	104	257,0	2,05	0,797	<255,6; 258,4>
	156	259,6	1,20	0,462	<258,8; 260,4>
	208	269,2	1,60	0,594	<268,1; 270,3>
	260	271,8	1,08	0,396	<271,1; 272,5>
	280	270,4	1,74	0,645	<269,2; 271,6>
65%CO/35%POP	104	261,8	1,99	0,760	<260,4; 263,2>
	156	268,0	1,33	0,498	<267,0; 269,0>
	208	275,6	1,26	0,459	<274,7; 276,5>
	260	276,0	1,33	0,483	<275,0; 277,0>
	280	273,8	1,75	0,640	<272,5; 275,1>
50%CO/50%POP	104	260,8	1,40	0,536	<259,8; 261,8>
	156	272,0	1,33	0,490	<271,0; 273,0>
	208	262,8	1,69	0,642	<261,6; 264,0>
	260	277,8	1,75	0,630	<276,5; 279,1>
	280	284,0	1,33	0,469	<283,0; 285,0>
35%CO/65%POP	104	263,8	2,20	0,834	<262,2; 265,4>
	156	273,2	1,69	0,617	<272,0; 274,4>
	208	272,2	1,48	0,542	<271,1; 273,3>
	220	274,6	1,65	0,600	<273,4; 275,8>

Príloha 2 Experimentálne zistené hodnoty hrúbky tkaniny [mm]

	Du	$\bar{h} [mm]$	$s [mm]$	$v [\%]$	95% IS
100% CO	104	0,332	0,0042	1,2700	<0,3290; 0,3350>
	156	0,310	0,0067	2,1505	<0,3052; 0,3148>
	208	0,303	0,0067	2,2276	<0,2982; 0,3078>
	260	0,288	0,0042	1,4640	<0,2850; 0,2910>
	280	0,281	0,0074	2,6259	<0,2757; 0,2863>
65%CO/35%POP	104	0,380	0,0082	2,1487	<0,3742; 0,3858>
	156	0,338	0,0103	3,0556	<0,3306; 0,3454>
	208	0,315	0,0053	1,6732	<0,3112; 0,3188>
	260	0,311	0,0032	1,0168	<0,3087; 0,3133>
	280	0,325	0,0071	2,1757	<0,3199; 0,3301>
50%CO/50%POP	104	0,395	0,0071	1,7901	<0,3899; 0,4001>
	156	0,354	0,0052	1,4588	<0,3503; 0,3577>
	208	0,331	0,0032	0,9554	<0,3287; 0,3333>
	260	0,320	0,0082	2,5516	<0,3142; 0,3258>
	280	0,321	0,0057	1,7684	<0,3169; 0,3251>
35%CO/65%POP	104	0,407	0,0046	1,1259	<0,4039; 0,4101>
	156	0,372	0,0060	1,6129	<0,3680; 0,3760>
	208	0,356	0,0049	1,3761	<0,3527; 0,3593>
	220	0,353	0,0078	2,2125	<0,3478; 0,3582>

Príloha 3 Experimentálne zistené hodnoty plošnej hmotnosti tkaniny [g/m²]

	Du	$\bar{m}_s [g/m^2]$	$s [g/m^2]$	$v [\%]$	95% IS
100% CO	104	77,7	1,4142	1,8209	<76,58; 78,75>
	156	89,3	1,4142	1,5831	<88,25; 90,42>
	208	111,7	1,3375	1,1974	<110,74; 112,66>
	260	124,1	1,5951	1,2854	<122,96; 125,24>
	280	130,2	2,6583	2,0417	<128,30; 132,10>
65%CO/35%POP	104	78,9	0,6009	0,7617	<78,43; 79,35>
	156	91,8	0,8333	0,9080	<91,14; 92,42>
	208	104,0	1,0541	1,0136	<103,25; 104,75>
	260	117,6	1,2649	1,0756	<116,70; 118,50>
	280	124,3	1,0593	0,8523	<123,54; 125,06>
50%CO/50%POP	104	78,8	1,0929	1,3873	<77,94; 79,62>
	156	93,9	0,9280	0,9884	<93,18; 94,60>
	208	108,6	1,1304	1,0413	<107,69; 109,42>
	260	120,8	1,2817	1,0615	<119,68; 121,82>
	280	126,3	0,8233	0,6518	<125,71; 126,89>
35%CO/65%POP	104	77,4	1,2360	1,5960	<76,49; 78,39>
	156	94,0	0,8660	0,9213	<93,33; 94,67>
	208	109,6	2,6750	2,4407	<107,69; 111,51>
	220	110,9	1,3703	1,2356	<109,92; 111,88>

Príloha 4 Experimentálne zistené hodnoty pórovitosti tkaniny [-]

	<i>Du</i>	$\bar{P}[-]$	<i>s</i> [-]	<i>v</i> [%]	95% IS
100% CO	104	0,4449	0,044	9,829	<0,4399; 0,4498>
	156	0,3874	0,044	11,391	<0,3824; 0,3924>
	208	0,3266	0,034	10,542	<0,3227; 0,3305>
	260	0,2288	0,031	13,679	<0,2253; 0,2324>
	280	0,2289	0,026	11,410	<0,2259; 0,2318>
65%CO/35%POP	104	0,3760	0,028	7,474	<0,3728; 0,3792>
	156	0,2749	0,027	9,883	<0,2718; 0,2780>
	208	0,2295	0,024	10,494	<0,2267; 0,2323>
	260	0,1684	0,026	15,646	<0,1654; 0,1714>
	280	0,1418	0,020	14,142	<0,1395; 0,1441>
50%CO/50%POP	104	0,3455	0,036	10,307	<0,3414; 0,3495>
	156	0,2402	0,028	11,558	<0,2370; 0,2433>
	208	0,2124	0,025	11,764	<0,2096; 0,2153>
	260	0,1535	0,020	13,218	<0,1512; 0,1559>
	280	0,1628	0,020	12,377	<0,1605; 0,1651>
35%CO/65%POP	104	0,3667	0,042	11,439	<0,3620; 0,3715>
	156	0,3082	0,032	10,353	<0,3046; 0,3119>
	208	0,1878	0,031	16,685	<0,1842; 0,1914>
	220	0,1851	0,021	11,352	<0,1827; 0,1875>

Príloha 5 Experimentálne zistené hodnoty priedušnosti tkaniny [m/s]

	<i>Du</i>	\bar{p} [m/s]	<i>s</i> [m/s]	<i>v</i> [%]	95% IS
100% CO	104	3,8720	0,08638	2,231	<3,8102; 3,9338>
	156	2,2670	0,0779	3,436	<2,2113; 2,3227>
	208	1,3750	0,08182	5,951	<1,3165; 1,4335>
	260	0,6732	0,01479	2,197	<0,6626; 0,6838>
	280	0,5868	0,03047	5,192	<0,5650; 0,6086>
65%CO/35%POP	104	3,6010	0,049766	1,382	<3,5654; 3,6366>
	156	1,9050	0,051262	2,691	<1,8683; 1,9417>
	208	1,0830	0,042701	3,943	<1,0525; 1,1135>
	260	0,4121	0,029358	7,124	<0,3911; 0,4331>
	280	0,3987	0,018451	4,628	<0,3855; 0,4119>
50%CO/50%POP	104	3,4040	0,032728	0,961	<3,3806; 3,4274>
	156	1,7950	0,0344	1,916	<1,7704; 1,8196>
	208	0,9461	0,023302	2,463	<0,9294; 0,9628>
	260	0,4923	0,031277	6,353	<0,4699; 0,5147>
	280	0,3365	0,023119	6,871	<0,3200; 0,3530>
35%CO/65%POP	104	3,3890	0,107647	3,176	<3,3120; 3,4660>
	156	1,7850	0,100139	5,610	<1,7134; 1,8566>
	208	0,8061	0,118676	14,722	<0,7212; 0,8910>
	220	0,6646	0,034584	5,204	<0,6399; 0,6893>

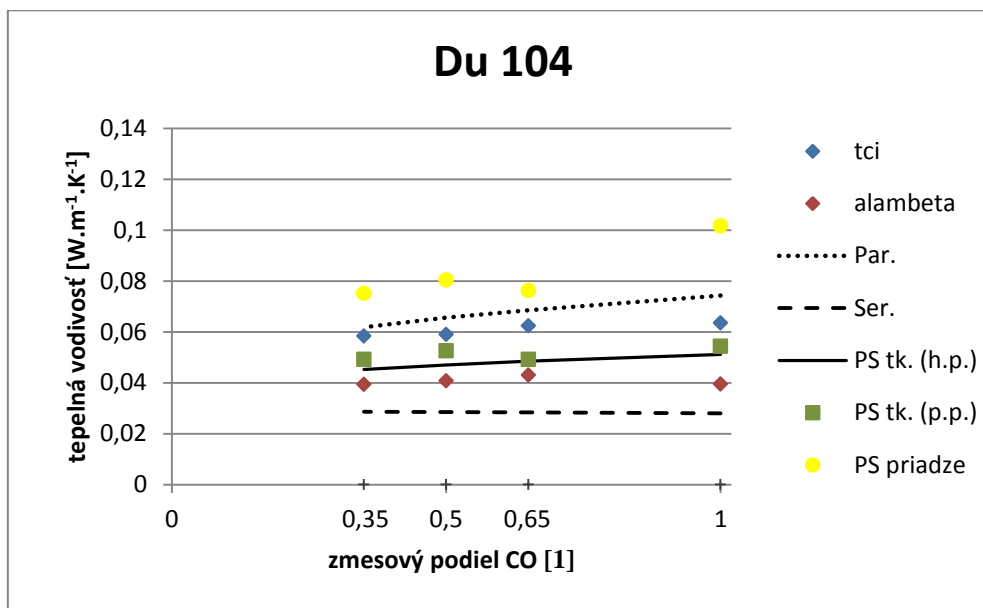
Príloha 6 Experimentálne zistené hodnoty tepelnej vodivosti namerané na prístroji Alambeta
[W.m⁻¹.K⁻¹]

	<i>Du</i>	$\bar{\lambda}$ [W/mK]	<i>s</i> [W/mK]	<i>v</i> [%]	95% IS
100% CO	104	0,0396	0,00100	2,536	<0,0389; 0,0403>
	156	0,0409	0,00107	2,607	<0,0401; 0,0416>
	208	0,0441	0,00108	2,448	<0,0434; 0,0449>
	260	0,0446	0,00062	1,382	<0,0442; 0,0451>
	280	0,0451	0,00136	3,019	<0,0441; 0,0461>
65%CO/35%POP	104	0,0430	0,00076	1,770	<0,0425; 0,0436>
	156	0,0446	0,00109	2,445	<0,0438; 0,0454>
	208	0,0442	0,00160	3,629	<0,0430; 0,0453>
	260	0,0483	0,00151	3,134	<0,0472; 0,0494>
	280	0,0473	0,00100	2,105	<0,0466; 0,0480>
50%CO/50%POP	104	0,0408	0,00054	1,330	<0,0404; 0,0412>
	156	0,0434	0,00133	3,057	<0,0425; 0,0444>
	208	0,0435	0,00087	2,009	<0,0429; 0,0442>
	260	0,0452	0,00112	2,480	<0,0443; 0,0460>
	280	0,0446	0,00120	2,691	<0,0438; 0,0455>
35%CO/65%POP	104	0,0394	0,00042	1,067	<0,0391; 0,0397>
	156	0,0414	0,00058	1,413	<0,0410; 0,0418>
	208	0,0440	0,00102	2,328	<0,0432; 0,0447>
	220	0,0424	0,00061	1,427	<0,0420; 0,0429>

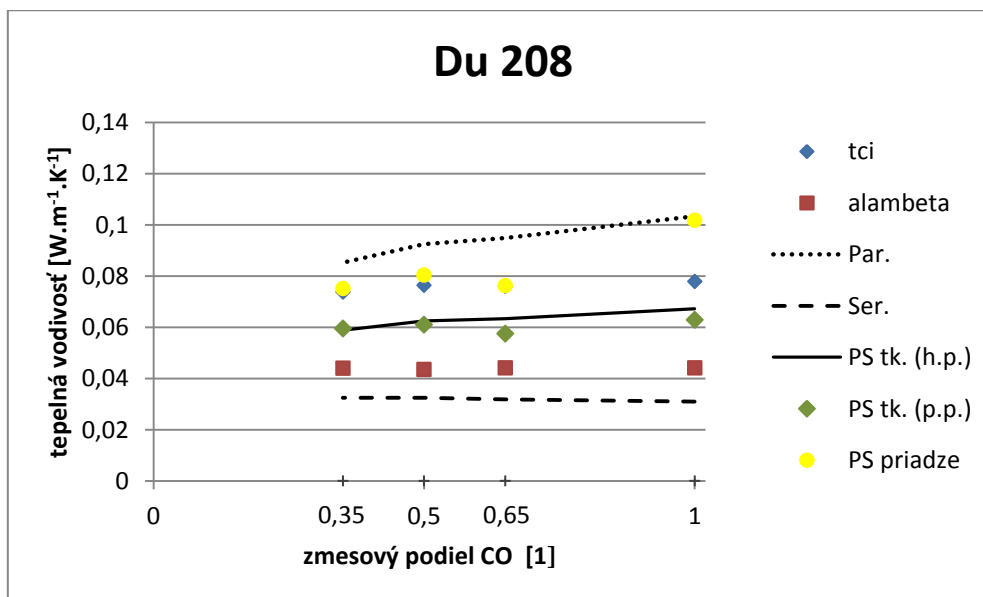
Príloha 7 Experimentálne zistené hodnoty tepelnej vodivosti namerané na prístroji TCi [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]

	<i>Du</i>	$\bar{\lambda}$ [W/mK]	<i>s</i> [W/mK]	<i>v</i> [%]	95% IS
100% CO	104	0,0636	0,00045	0,701	<0,0634; 0,0638>
	156	0,0742	0,00064	0,867	<0,0739; 0,0745>
	208	0,0784	0,00224	2,852	<0,0775; 0,0793>
	260	0,0868	0,00229	2,635	<0,0859; 0,0877>
	280	0,0904	0,00198	2,188	<0,0896; 0,0912>
65%CO/35%POP	104	0,0625	0,00069	1,103	<0,0622; 0,0628>
	156	0,0692	0,00171	2,469	<0,0685; 0,0699>
	208	0,0760	0,00066	0,869	<0,0757; 0,0763>
	260	0,0834	0,00097	1,166	<0,0830; 0,0838>
	280	0,0850	0,00148	1,742	<0,0844; 0,0856>
50%CO/50%POP	104	0,0590	0,00074	1,252	<0,0587; 0,0593>
	156	0,0681	0,00066	0,966	<0,0678; 0,0684>
	208	0,0764	0,00093	1,212	<0,0761; 0,0768>
	260	0,0807	0,00123	1,527	<0,0802; 0,0812>
	280	0,0832	0,00109	1,312	<0,0828; 0,0837>
35%CO/65%POP	104	0,0584	0,00057	0,979	<0,0582; 0,0587>
	156	0,0646	0,00081	1,253	<0,0642; 0,0649>
	208	0,0738	0,00122	1,649	<0,0733; 0,0743>
	220	0,0745	0,00137	1,841	<0,0739; 0,0751>

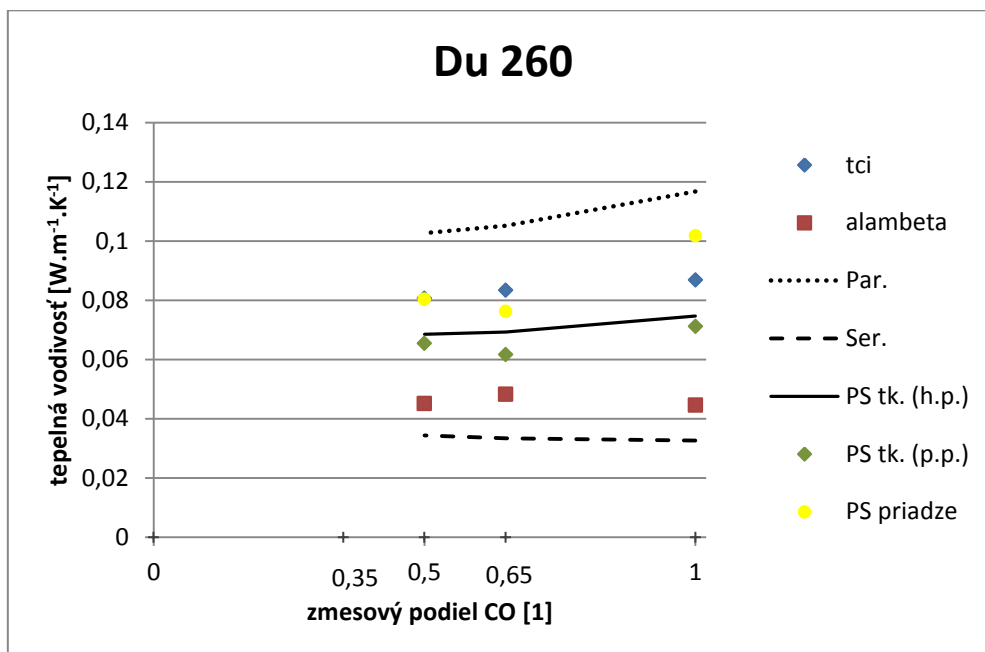
Príloha 8a Experimentálne a vypočítané tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] závislé na hustotnej pórovitosti a plošnej pórovitosti [-]



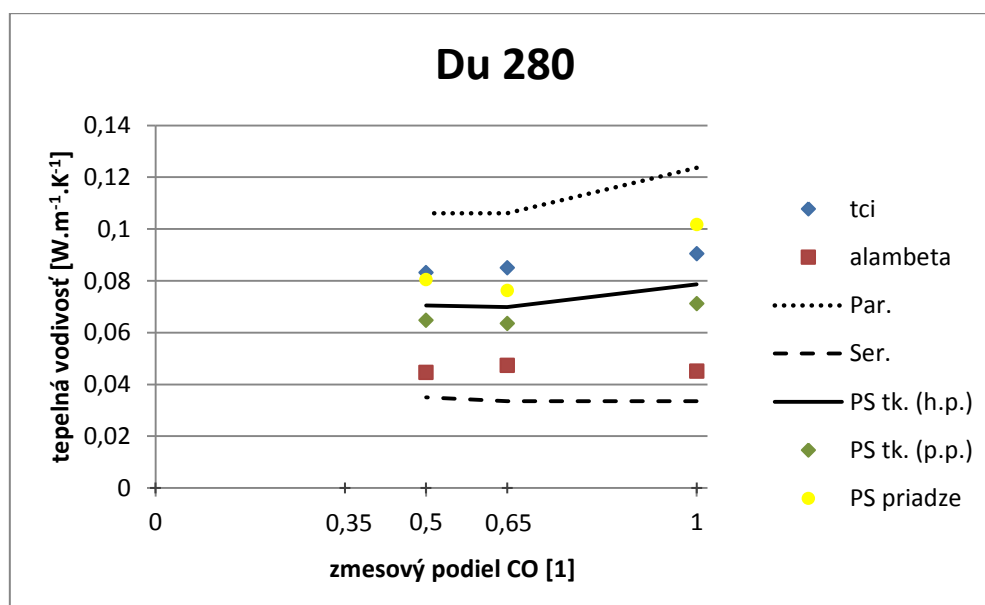
Príloha 8b Experimentálne a vypočítané tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] závislé na hustotnej pórovitosti a plošnej pórovitosti [-]



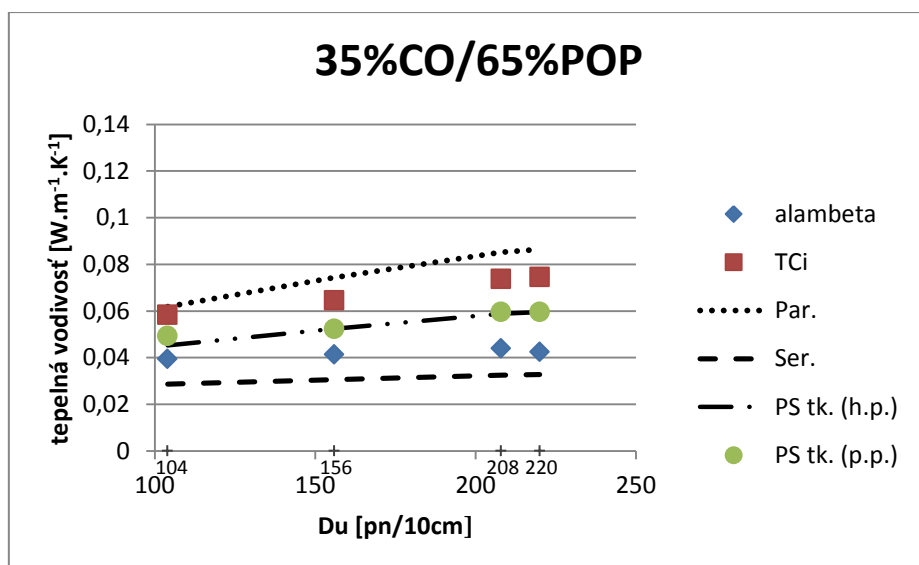
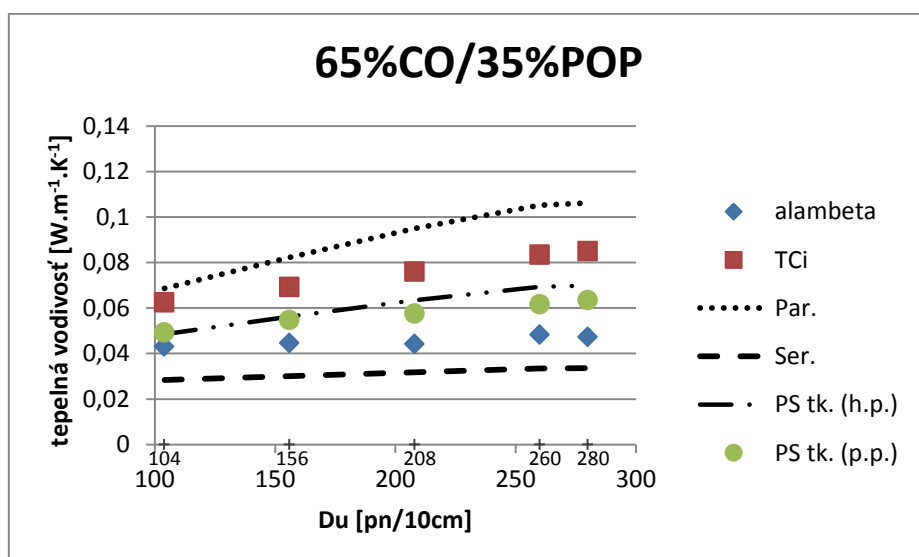
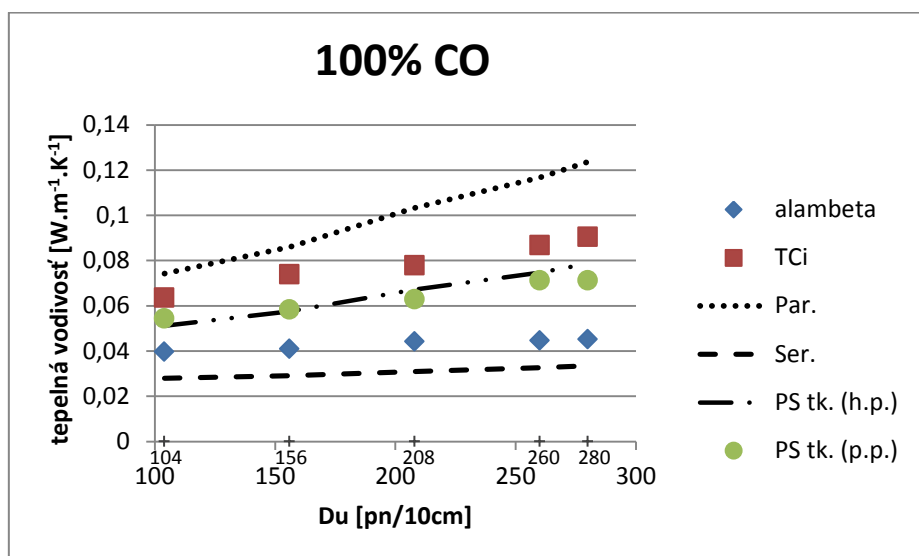
Príloha 8c Experimentálne a vypočítané tepelné vodivosti [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] závislé na hustotnej pórovitosti a plošnej pórovitosti [-]



Príloha 8d Experimentálne a vypočítané tepelné vodivosti [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] závislé na hustotnej pórovitosti a plošnej pórovitosti [-]



Príloha 9 Vplyv dostavy na experimentálne a vypočítané tepelné vodivosti tkanín [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]



Vliv směsového podílu bavlny a polypropylenu na vybrané vlastnosti tkanin

<i>Tkanina</i>	<i>D_u</i> [nt/10cm]	<i>Zaplnenie</i> <i>hustotné</i> <i>μ_p</i> [-]	<i>Hustotná</i> <i>pórovitosť</i> <i>P_p</i> [-]	<i>λ_P</i>	<i>λ_S</i>	<i>λ_{PS}</i>	<i>Zaplnenie</i> <i>priadze</i> <i>μ_y</i> [-]	<i>Pórovitosť</i> <i>priadze</i> <i>P_y</i> [-]	<i>λ_P</i>	<i>λ_S</i>	<i>λ_{PS}</i>	<i>Pórovitosť</i> <i>plošná m.</i> <i>P_s</i> [-]	<i>Zakrytie</i> <i>Z_s</i> [-]	<i>λ_P</i>	<i>λ_S</i>	<i>λ_{PS}</i>
100% CO	104	0,1539	0,8461	0,0743	0,0280	0,0512	0,427	0,573	0,1636	0,0399	0,1017	0,4449	0,5552	0,0672	0,0417	0,0544
100% CO	156	0,1896	0,8104	0,0860	0,0291	0,0576	0,427	0,573	0,1636	0,0399	0,1017	0,3874	0,6126	0,0716	0,0451	0,0584
100% CO	208	0,2425	0,7575	0,1033	0,0310	0,0672	0,427	0,573	0,1636	0,0399	0,1017	0,3266	0,6734	0,0764	0,0494	0,0629
100% CO	260	0,2835	0,7165	0,1167	0,0326	0,0747	0,427	0,573	0,1636	0,0399	0,1017	0,2288	0,7712	0,0840	0,0584	0,0712
100% CO	280	0,3048	0,6952	0,1237	0,0335	0,0786	0,427	0,573	0,1636	0,0399	0,1017	0,2289	0,7711	0,0839	0,0584	0,0712
65%CO/35%POP	104	0,1686	0,8314	0,0686	0,0284	0,0485	0,352	0,648	0,1171	0,0354	0,0762	0,3760	0,6240	0,0566	0,0419	0,0493
65%CO/35%POP	156	0,2206	0,7794	0,0823	0,0301	0,0562	0,352	0,648	0,1171	0,0354	0,0762	0,2749	0,7251	0,0619	0,0477	0,0548
65%CO/35%POP	208	0,2682	0,7318	0,0949	0,0318	0,0634	0,352	0,648	0,1171	0,0354	0,0762	0,2295	0,7705	0,0643	0,0508	0,0575
65%CO/35%POP	260	0,3071	0,6929	0,1052	0,0334	0,0693	0,352	0,648	0,1171	0,0354	0,0762	0,1684	0,8316	0,0674	0,0558	0,0616
65%CO/35%POP	280	0,3107	0,6893	0,1061	0,0336	0,0698	0,352	0,648	0,1171	0,0354	0,0762	0,1418	0,8582	0,0688	0,0583	0,0635
50%CO/50%POP	104	0,1752	0,8248	0,0656	0,0285	0,0471	0,414	0,586	0,1223	0,0385	0,0804	0,3455	0,6545	0,0609	0,0444	0,0526
50%CO/50%POP	156	0,2330	0,7670	0,0793	0,0304	0,0549	0,414	0,586	0,1223	0,0385	0,0804	0,2402	0,7598	0,0669	0,0514	0,0591
50%CO/50%POP	208	0,2881	0,7119	0,0924	0,0325	0,0625	0,414	0,586	0,1223	0,0385	0,0804	0,2124	0,7876	0,0684	0,0536	0,0610
50%CO/50%POP	260	0,3315	0,6685	0,1027	0,0343	0,0685	0,414	0,586	0,1223	0,0385	0,0804	0,1535	0,8465	0,0717	0,0591	0,0654
50%CO/50%POP	280	0,3456	0,6544	0,1061	0,0350	0,0705	0,414	0,586	0,1223	0,0385	0,0804	0,1628	0,8372	0,0712	0,0582	0,0647
35%CO/65%POP	104	0,1797	0,8203	0,0619	0,0286	0,0452	0,417	0,583	0,1118	0,0384	0,0751	0,3667	0,6333	0,0564	0,0422	0,0493
35%CO/65%POP	156	0,2389	0,7611	0,0743	0,0306	0,0524	0,417	0,583	0,1118	0,0384	0,0751	0,3082	0,6918	0,0593	0,0453	0,0523
35%CO/65%POP	208	0,2908	0,7092	0,0853	0,0325	0,0589	0,417	0,583	0,1118	0,0384	0,0751	0,1878	0,8122	0,0655	0,0536	0,0596
35%CO/65%POP	220	0,2965	0,7035	0,0865	0,0327	0,0596	0,417	0,583	0,1118	0,0384	0,0751	0,1851	0,8149	0,0656	0,0539	0,0598

Príloha 10 Tepelná vodivosť tkaniny [W.m⁻¹.K⁻¹] predikovaná podľa dvojfázového modelu

$\lambda_s, \lambda_p, \lambda_{ps}$ - [W.m⁻¹.K⁻¹]